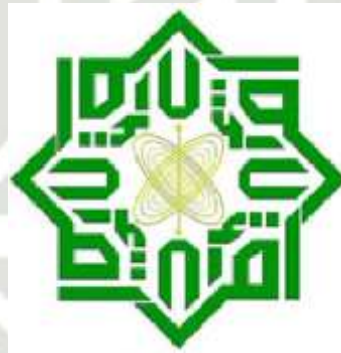


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

Oleh :

AGUNG WAHYUDHI

11555102724

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU

PEKANBARU

2019

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN PENGENDALI LQR-PID UNTUK MENGENDALIKAN TEMPERATUR DAN KELEMBABAN UDARA RELATIF PADA SISTEM RUANG PENDINGIN JAMUR MERANG

TUGAS AKHIR

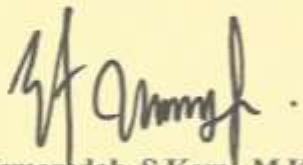
Oleh:

AGUNG WAHYUDHI

11555102724

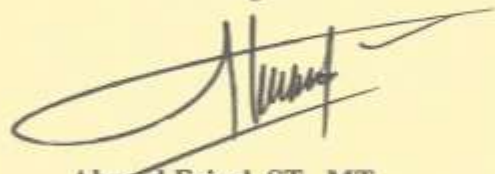
Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 15 November 2019

Ketua Program Studi



Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom
NIP. 19750922 200912 2 002

Pembimbing



Ahmad Faizal, ST., MT.
NIP. 19880630 201503 1 006

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN PENGENDALI LQR-PID UNTUK MENGENDALIKAN TEMPERATUR DAN KELEMBABAN UDARA RELATIF PADA SISTEM RUANG PENDINGIN JAMUR MERANG

TUGAS AKHIR

Oleh:

AGUNG WAHYUDHI

11555102724

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 15 November 2019

Pekanbaru, 15 November 2019

Mengesahkan,

Dekan



Dr. Drs. Ahmad Darmawi, M.Ag.
NIP. 19660604 199203 1 004

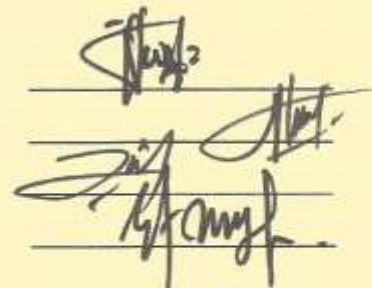
Ketua Program Studi



Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom
NIP. 19750922 200912 2 002

DEWAN PENGUJI :

Ketua : Mulyono, ST., MT
Sekretaris : Ahmad Faizal, ST., MT
Anggota I : Aulia Ullah, ST., M.Eng
Anggota II : Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom



LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 23 Oktober 2019

Yang membuat pernyataan,

Agung Wahyudhi
NIM. 11555102724

UIN SUSKA RIAU

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur diucapkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan nikmat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga saya masih diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat serta salam senantiasa pula saya ucapkan kepada nabi besar Muhammad SAW, yang telah memberikan kita ilmu pengetahuan dan mengajarkan kita pentingnya menuntut ilmu dan beribadah dalam mencari ridha Allah SWT untuk keselamatan dunia dan akhirat.

Saya persembahkan karya ilmiah ini kepada Bapak dan Ibu tercinta yang telah memberikan kesempatan, kepercayaan dan dukungan yang tak terhitung nilainya demi masa depan anakmu ini dalam menempuh pendidikan yang lebih tinggi dan menggapai cita-cita. Karya ilmiah ini mungkin menjadi salah satu hadiah terindah yang anakmu berikan kepadamu bapak dan ibu dan menjadi penghibur hati kita semua. Karya ilmiah ini akan menjadi langkah awal keberhasilan dan perjuangan anakmu demi menggapai cita-cita dan masa depan yang lebih baik dan tetap berpegang teguh pada ajaran agama dan nasehat yang engkau berikan kepada anakmu ini. Rasa terima kasih yang sangat dalam saya ucapkan kepadamu bapak dan ibu, kakak dan adikku, keluarga besarku, dan rekan-rekan seperjuangan semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua dengan pahala yang berlipat ganda dan kebaikan yang lebih baik lagi.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

PERANCANGAN PENGENDALI LQR-PID UNTUK MENGENDALIKAN TEMPERATUR DAN KELEMBABAN UDARA RELATIF PADA SISTEM RUANG PENDINGIN JAMUR MERANG

AGUNG WAHYUDHI
11555102724

Tanggal Sidang : 15 November 2019

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Sistem pendingin merupakan sebuah ruangan yang digunakan untuk menjaga kesegaran pada jamur merang karena umurnya. Bertahan kurang dari satu hari setelah dipanen. Oleh karena itu, diperlukan pengendali agar menjaga kesegaran pada jamur merang. Perancangan pengendali sistem bertujuan untuk mengendalikan keluaran dari sistem sehingga keluaran yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan dengan minimum *error* dan mengatasi osilasi. Pada penelitian ini digunakan pengendali LQR dikarenakan pengendali ini memiliki sifat regulator kemudian dikombinasikan dengan pengendali PID yang mengendalikan keluaran sistem dengan nilai *error* minimum. Hasil dari pengendali LQR-PID menunjukkan bahwa pengendali berhasil dirancang dan mampu meminimalisir *Error steady state* sebesar 0 °C pada temperatur dan kelembaban udara relatif *Error steady state* sebesar 0 % serta mengatasi osilasi.

Kata kunci: Jamur Merang, LQR, PID, Sistem pendingin

UIN SUSKA RIAU

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LQR-PID CONTROLLER DESIGN TO CONTROL THE TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY IN THE COOLING MUSHROOM SYSTEM

AGUNG WAHYUDHI
11555102724

Examination Date : 15 November 2019

*Department of Electrical Engineering
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas St. No. 155 Pekanbaru - Indonesia*

ABSTRACT

The cooling system is a room that is used to maintain the freshness of the mushroom due to its age. Endure less than one day after harvesting. Therefore, controllers are needed to maintain the freshness of the mushroom. The design of the system controller aims to control the output of the system so that the output produced is as desired with a error minimum and oscillation. In this study, LQR controllers are used because these controllers have regulator properties then combined with PID controllers that control system output with error minimum values. The results of the LQR-PID controller show that the controller was successfully designed and capable of minimizing the error steady state of 0 °C at a temperature and relative humidity humidity of the error steady state of 0% and overcoming oscillations.

Keywords: *straw mushroom, LQR, PID, Cooling system.*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdu lillahi rabbil 'alamin bersyukur pada Allah subhanahu wata'ala atas nikmat dan karunia yang telah melimpahkan nikmat, rahmat, rizki, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan judul “Perancangan Pengendali LQR-PID untuk Mengendalikan Temperatur dan Kelembaban Udara Relatif pada Sistem Ruang Pendingin Jamur Merang”. *Shalawat* beserta salam penulis sampaikan kepada nabi besar Muhammad *shallallahu 'alaihi wa sallam* sebagai suri tauladan bagi seluruh umat yang ada di dunia hingga akhir zaman.

Laporan Tugas Akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Strata 1 (S1) Program Studi Teknik Elektro dan memperoleh gelar Sarjana Teknik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah terlibat membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, baik berupa bantuan moril, spiritual, materi, serta pikiran yang tidak akan pernah terlupakan antara lain kepada :

1. Terimakasih untuk Papa (Sukardi), mama (Erniati) , Kak Dice dan Kak Nindy tercinta yang telah memberikan doa, motivasi, dan dukungan serta moril, maupun materil demi keberhasilan penulis dalam meraih cita-cita.
2. Bapak Prof. DR, H. Akhmad Mujahidin, S.Ag., M.Ag selaku rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. Ahmad Darmawi., M.Ag. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom.,M.Kom selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau serta sebagai dosen Penguji II.
5. Bapak Mulyona, MT selaku ketua sidang yang telah memberi masukan berupa kritik dan saran dalam menyempurnakan laporan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Ahmad Faizal, ST, MT selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi serta sebagai pembimbing yang telah banyak memberikan penulis saran dalam menyusun jadwal dengan pembimbing maupun penguji sehingga Tugas Akhir ini berjalan dengan lancar.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Bapak Aulia Ullah, ST., M.Eng selaku dosen Penguji I yang telah banyak memberi masukan berupa kritik dan saran demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini

Ibuk Rika Susanti, ST, M.Eng selaku dosen Penasehat Akademik yang mengarahkan dan membimbing penulis dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Seluruh dosen yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat kepada penulis selama mengikuti perkuliahan pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

10. Terimakasih untuk Silvia Vriyatna, SE yang sudah mendengarkan keluh kesah setiap kata yang tertulis dalam Tugas Akhir ini
11. Terimakasih untuk para sahabat Fadhli Syaifurrahman, Rhahmad Ridwan Syam Tarmizi, Misbachul badri dan Rendi Ramadhan yang selalu membantu, menyemangati penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Teman-teman seperjuangan Program Studi Teknik Elektro khususnya angkatan 2015 terima kasih atas segala motivasi, inspirasi, dan dukungan yang telah diberikan selama ini.
13. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam melaksanakan dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun penulis harapkan agar laporan ini tersusun sesuai dengan yang diharapkan. Akhir kata semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan sesuatu yang bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Pekanbaru, 23 Oktober 2019

Penulis,

Agung Wahyudhi

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
DAFTAR SINGKATAN.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-3
1.3 Tujuan Penelitian	I-3
1.4 Batasan Masalah	I-4
1.5 Manfaat Penelitian	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Dasar Teori	II-2
2.2.1 Jamur Merang	II-2
2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Jamur.....	II-3
2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Suhu dan Kelembaban	II-4
2.2.4 Sistem Pendingin	II-5
2.2.5 Identifikasi Sistem dengan <i>Process Reaction Curve</i>	II-8
2.2.6 Analisa Respon Transien.....	II-14
2.2.7 <i>Linear Quadratic Regulator</i> (LQR).....	II-16
2.2.8 <i>Proportional Integral Derivative</i> (PID)	II-19

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.2.9 Kriteria Integral Menggunakan IAE	II-20
2.2.10 Metode Heuristik	II-21
2.2.11 MATLAB	II-21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Proses Alur Penelitian	III-1
3.2 Keterangan Gambar Alur Penelitian	III-2
3.3 Pengumpulan Data	III-4
3.4 Penentuan Variabel	III-4
3.5 Perancangan Pengendali LQR	III-5
3.5.1 Perancangan Pengendali LQR Temperatur	III-5
3.5.1 Perancangan Pengendali LQR Kelembaban Udara Relatif.....	III-8
3.6 Perancangan Pengendali Propotional Integral Derivatif (PID).....	III-11
3.7 Perancangan Pengendali LQR-PID	III-11

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Gambaran Umum Analisa Sistem.....	IV-1
4.2 Analisa <i>Open Loop</i> Pada Sistem Ruang Pendingin Jamur Merang ...	IV-1
4.3 Analisa Pengendali LQR Temperatur	IV-3
4.4 Analisa Pengendali LQR Kelembaban Udara Relatif	IV-6
4.5 Analisa Pengendali LQR-PID Temperatur.....	IV-9
4.6 Analisa Pengendali LQR-PID Kelembaban Udara Relatif.....	IV-13
4.7 Analisa Perbandingan Pengendali LQR dan Pengendali LQR-PID..	IV-16

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Jamur Merang (<i>Volvariella Volvaceae</i> L.).....	II-2
2.2 Sistem Pendingin Jamur Merang	II-6
2.3 Diagram Blok Sistem.....	II-6
2.4 Diagram Blok Sistem Sistem Pendingin Jamur Merang.....	II-6
2.5 PRC Metode 1	II-8
2.6 Grafik Pemodelan Temperatur	II-11
2.7 Grafik Pemodelan Kelembaban.....	II-12
2.8 Karakteristik Respon Orde Pertama	II-14
2.9 Diagram Alir Kendali Optimal LQR	II-18
2.10 Ikon MATLAB	II-21
3.1 <i>Flow Chart</i> Penelitian	III-2
3.2 Diagram Blok <i>Open Loop</i> Temperatur Sistem Pendingin Jamur Merang	III-5
3.3 Diagram Blok <i>Open Loop</i> Kelembaban Sistem Pendingin Jamur Merang.....	III-5
3.4 Diagram Blok LQR Temperatur Sistem Pendingin Jamur Merang.....	III-7
3.5 <i>Subsytem</i> LQR Pada Temperatur Sistem Pendingin Jamur Merang	III-7
3.6 Tampilan M-File Pada Temperatur Sistem Pendingin Jamur Merang	III-7
3.7 Respon Menggunakan Kendali LQR Pada Temperatur.....	III-8
3.8 Diagram Blok LQR Kelembaban Sistem Pendingin Jamur Merang	III-9
3.9 <i>Subsytem</i> LQR Pada Kelembaban Sistem Pendingin Jamur Merang	III-10
3.10 Tampilan M-File Pada Kelembaban Sistem Pendingin Jamur Merang	III-10
3.11 Respon Menggunakan Kendali LQR Pada Kelembaban	III-10
3.12 Blok Diagram Kendali PID	III-11
3.13 Blok Diagram LQR-PID	III-12
4.1 Respon Sistem <i>Open Loop</i> Temperatur Sistem Pendingin Jamur Merang	IV-2
4.2 Respon Sistem <i>Open Loop</i> Kelembaban Sistem Pendingin Jamur Merang	IV-2
4.3 Respon Menggunakan Pengendali LQR Pada Temperatur	IV-3
4.4 <i>Workspace</i> Konstanta Waktu (τ) pada Sistem Temperatur	IV-4
4.5 Respon Menggunakan Pengendali LQR Pada Kelembaban Udara Relatif.....	IV-5
4.6 <i>Workspace</i> Konstanta Waktu (τ) pada Sistem kelembaban Udara Relatif.....	IV-6
4.7 Respon Menggunakan Pengendali LQR-PID pada Sistem Temperatur	IV-10
4.8 <i>Workspace</i> Konstanta Waktu (τ) pada Sistem Temperatur	IV-11

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
-
- 4.9 Respon Pengendali LQR-PID pada Kelembaban Udara Relatif..... IV-13
 - 4.10 *Workspace* Konstanta Waktu (τ) pada Sistem kelembaban Udara Relatif..... IV-14



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Spesifikasi Sistem Pendingin	II-7
2.2 Spesifikasi Sistem Kelembaban.....	II-8
2.3 Data Pemodelan Temperatur	II-12
2.4 Data Pemodelan Temperatur	II-13
4.1 Percobaan menentukan matriks Q dan R pada temperatur	IV-3
4.2 Analisa Respon Pengendali LQRTemperatur	IV-5
4.3 Percobaan menentukan matriks Q dan R pada Kelembaban.....	IV-6
4.4 Analisa Respon Pengendali LQR Kelembaban Udara Relatif	IV-9
4.5 Analisa Respon Pengendali LQR-PID Temperatur	IV-9
4.6 Analisa Respon Pengendali LQR-PID Kelembaban Udara Relatif.....	IV-12
4.7 Perbandingan Respon temperatur Pengendali LQR dengan LQR-PID	IV-15
4.8 Perbandingan Respon kelembaban udara relatif Pengendali LQR dengan LQR-PID	IV-16

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR SIMBOL

θ	= waktu tunda
K_1	= Penguatan sistem temperatur
K_2	= Penguatan sistem kelembaban
θ_1	= waktu tunda sistem temperatur
θ_2	= waktu tunda sistem kelembaban
τ_1	= <i>time constat</i> sistem temperatur
τ_2	= <i>time constat</i> sistem kelembapan
t_s	= <i>settling time</i>
t_r	= <i>rise time</i>
t_d	= <i>delay time</i>
E_{ss}	= <i>error steady state</i>
K_p	= konstanta <i>proportional</i>
K_i	= konstanta <i>integral</i>
K_d	= konstanta <i>derivatif</i>
t_0	= waktu awal
τ	= waktu akhir
$x(\tau)$	= matriks <i>State</i> akhir

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR SINGKATAN

PID	= <i>Proportional Integral Derivative</i>
LQR	= <i>Linear Quadratic Regulator</i>
MATLAB	= <i>Matrix Laboratory</i>
PRC	= <i>Process Reaction Curve</i>



UIN SUSKA RIAU

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kesadaran serta kebutuhan akan pentingnya makanan bergizi semakin meningkat yang disebabkan oleh membaiknya tingkat pemahaman masyarakat tentang makanan yang bergizi untuk kesehatan. Kondisi ini disebabkan pula dengan meningkatnya daya beli masyarakat terhadap suatu produk pertanian seperti jamur [1]. Sejak 3000 tahun yang lalu jamur dikenal sebagai makanan, khususnya para Raja Mesir yang kemudian berkembang menjadi makanan spesial bagi masyarakat umum karena rasanya yang enak. Di Cina, pemanfaatan jamur sebagai bahan obat-obatan sudah dimulai sejak 2000 tahun silam. Di Indonesia jamur mulai dibudidayakan sekitar tahun 1950-an [2].

Pemanfaatan berbagai jenis jamur telah banyak dilakukan yaitu sebagai bahan obat-obatan serta sebagai sumber bahan makanan. Jamur merang, jamur kuping, jamur kancing, jamur shitake, dan jamur tiram merupakan jenis jamur yang dapat dikonsumsi oleh manusia dan telah banyak pengembangan terhadap beberapa jenis jamur lainnya [3]. Dari beberapa jamur tersebut jamur merang merupakan jamur yang banyak diminati oleh manusia, dikarenakan jamur merang memiliki bahan aktif anti tumor, meningkatkan daya tahan tubuh serta berpengaruh terhadap peningkatan kesehatan tubuh manusia. Telah banyak diketahui bahwa jamur merang adalah sumber bahan pangan yang kaya akan protein dan vitamin dengan kadar lemak yang rendah. Jamur ini juga kaya akan asam amino *esensial*, kadar serat pangan dan karbohidrat yang bermanfaat bagi tubuh manusia [4].

Jamur merang merupakan komoditas hortikultura yang bernilai ekonomi tinggi dan prospektif karena sebagai sumber protein. Kandungan protein pada jamur cukup bervariasi tergantung pada struktur genetik setiap spesies jamur dan perbedaan komposisi fisik dan kimia pada media pertumbuhan [5]. Pada umumnya media tempat tumbuhnya jamur merang yang mengandung selulosa seperti, limbah penggilingan padi, limbah pabrik kertas, tumpukan jerami, ampas batang aren dan lainnya [6].

Daya simpanan yang rendah merupakan salah satu kendala dalam usaha jamur merang. Umur simpan jamur merang lebih rendah dari sayuran lainnya. Jamur merang mempunyai umur simpan kurang lebih dari satu hari. Beberapa jam setelah dipanen, jamur merang menjadi lembek, berubah warna dan membusuk, meskipun begitu jamur merang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

tetap dipanen pada saat tudung jamur mengincup [7]. Jamur merang dapat diawetkan dengan penyimpanan pada suhu dan kelembaban yang tepat, sehingga dapat bertahan hingga 4 hari. Pengawetan jamur merang dilakukan dengan menyimpan jamur merang pada *cold storage*, setelah di *packing* kedap udara dengan menggunakan wadah *plastic*. Untuk memperpanjang umur simpan jamur merang disimpan pada suhu $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ dengan RH 85% [8]. Penggunaan *cold storage* mampu menjaga suhu dan kelembaban udara relatif secara konstan dengan menggunakan *cold storage* bisa menjaga kesegaran pada jamur merang. Maka dari itu dibutuhkan pengendali terhadap suhu dan kelembaban udara pada ruang penyimpanan jamur merang.

Penelitian untuk mengatur suhu dan kelembaban pada jamur dilakukan dengan menggunakan pengendali, salah satunya menggunakan PID yang diteliti oleh Karsid dan Rofan Aziz dengan melakukan penelitian “Perancangan Kendali PID Dengan Model *Process Reaction Curve* Pada *Showcase* Jamur Merang”. Sistem *showcase* dirancang menggunakan metode kurva reaksi proses, sedangkan pengendali PID dengan metode kolerasi Ciancone. Dimana grafik hasil sistem hasil simulasi memiliki kecenderungan keluaran sistem yang sama dengan grafik sistem nyata, tanggapan sistem juga lebih cepat mencapai masukan, akan tetapi dengan menggunakan pengendali PID terdapat *overshoot* pada keluaran sistem mencapai -1°C . Sedangkan *undershoot* mencapai 1°C sebelum sistem mencapai kondisi tunak, sehingga masih terjadi kelemahan pada sistem *showcase* [9].

Penelitian berikutnya “Studi perbandingan model dan aplikasi kontrol *on-off* pada *cold storage* jamur merang”. Pada penelitian ini melakukan perbandingan model aplikasi kontrol *on-off*. hasil dari penelitian ini berupa perbandingan grafik respon sistem hasil eksperimental dan pemodelan setelah diterapkan kendali menunjukkan hasil yang identik atau relatif sama, hal ini dapat dilihat ketika sistem mengalami keadaan tunak akan tetapi masih membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai waktu tunak [10]. Penelitian ini hanya membahas perbandingan hasil keluaran dari eksperimental dan pemodelan setelah diterapkan kontrol *on-off*.

Dari dua penelitian terkait masih menunjukkan kelemahan yaitu respon *output* mengalami *overshoot* dan osilasi. Maka dari itu penulis memilih menggunakan pengendali optimal menggunakan LQR dikarenakan memiliki sifat regulator. Regulator memiliki makna sebagai tujuan pengendali agar sistem tetap konstan sehingga bisa mempertahankan *setpoint*. Sehingga cocok dengan sistem ruang pendingin jamur merang, karena pada

sistem ini akan menjaga temperatur dan kelembaban udara relatif pada *setpoint* yang telah ditentukan [11].

Terlihat dari hasil pra peneitian yang telah dilakukan pada pengendalian temperatur dan kelembaban pada sistem ruang pendingin jamur merang menggunakan pengendali LQR masih menunjukan respon sistem yang belum mencapai *setpoint*. Hal ini disebabkan oleh perbedaan dari kerekteristik sistem, ketidaklinearannya pada sistem atau nilai matriks Q dan R yang belum tepat. Maka untuk menyempurnakan respon pada pengendali LQR, dilakukan penambahan pengendali PID. Pengendali ini terdiri dari tiga dasar kendali yaitu proposional, integral, dan derivatif. Masing-masing kendali memiliki keunggulannya yaitu pada parameter Proposional adalah memberikan efek *rise time* yang cepat. Pengendali Integral menghilangkan *error steady state*. Pengendali derivatif meredamkan *overshoot* [12].

Berdasarkan pada penelitian sebelumnya yang membahas pengendalian LQR dengan penambahan PID mampu menghasilkan respon *output* tidak mengalami osilasi dengan *error* yang minimum serta tidak adanya *overshoot* [13][14][15][16]. Pada penelitian ini diharapkan dalam sistem temperatur dan kelembaban udara relatif pada sistem ruang pendingin jamur merang menghasilkan respon *output* tidak mengalami osilasi dengan *error* yang minimum. Maka dari uraian diatas penulis melakukan penelitian tugas akhir ini dengan judul “**Perancangan Pengendali LQR-PID untuk Mengendalikan Temperatur dan Kelembaban Udara Relatif pada Sistem Ruang Pendingin Jamur Merang**”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana rancangan pengendali yang mampu mengatasi osilasi dengan *error* yang minimum dengan menggunakan pengendali LQR yang dikombinasikan dengan PID.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah untuk mendapatkan respon *output* yang tidak mengalami osilasi dengan *error* yang minimum pada sistem ruang pendingin jamur merang.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Model yang dipakai adalah model dari sistem matematis yang diturunkan dari persamaan dinamik berdasarkan rujukan [10].
2. Nilai pembobot R konstan bernilai 1
3. Pengendali yang digunakan adalah LQR-PID.
4. Aplikasi yang digunakan untuk simulasi adalah *software* MATLAB.
5. Tidak membahas *hardware* dari *Plant*.
6. Ketika mengendalikan temperatur maka kelembaban diabaikan dan jika mengendalikan kelembaban maka temperatur diabaikan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu :

1. Sebagai referensi tambahan bagi peneliti-peneliti berikutnya.
2. Dapat memberikan pengetahuan tentang perancangan pengendali LQR dengan kombinasi PID pada sistem pendingin jamur merang.
3. Sebagai referensi penerapan sistem kendali pada *plant* sebenarnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian tugas akhir ini dilakukan untuk mencari dasar-dasar teori dan referensi yang berkaitan dengan sistem ruang pendingin pada jamur merang dan pengendali LQR-PID.

Penelitian untuk mengatur suhu dan kelembaban pada jamur dilakukan dengan menggunakan pengendali, salah satunya menggunakan PID yang diteliti oleh Karsid dan Rofan Aziz dengan melakukan penelitian “Perancangan Kendali PID Dengan Model *Process Reaction Curve* Pada *Showcase* Jamur Merang”. Sistem *showcase* dirancang menggunakan metode kurva reaksi proses, sedangkan pengendali PID dengan metode kolerasi Ciancone. Dimana grafik hasil sistem hasil simulasi memiliki kecendrungan keluaran sistem yang sama dengan grafik sistem nyata, tanggapan sistem juga lebih cepat mencapai masukan, akan tetapi dengan menggunakan pengendali PID terdapat *overshoot* pada keluaran sistem mencapai -1°C . Sedangkan *undershoot* mencapai 1°C sebelum sistem mencapai kondisi tunak, sehingga masih terjadi kelemahan pada sistem *showcase* [9].

Penelitian berikutnya “Studi perbandingan model dan aplikasi kontrol *on-off* pada *cold storage* jamur merang”. Pada penelitian ini melakukan perbandingan model aplikasi kontrol *on-off*. Hasil dari penelitian ini berupa perbandingan grafik respon sistem hasil eksperimental dan pemodelan setelah diterapkan kendali menunjukkan hasil yang identik atau relatif sama, hal ini dapat dilihat ketika sistem mengalami keadaan tunak akan tetapi masih membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai waktu tunak [10]. Penelitian ini hanya membahas perbandingan hasil keluaran dari eksperimental dan pemodelan setelah diterapkan kontrol *on-off*.

Penelitian selanjutnya “Desain Pengendali *Optimal Linear Quadratic Regulator* (LQR) Pada Sistem Pengendalian Temperatur di *Annealing Lehr* Untuk Proses Pembuatan Kaca”. Setelah diidentifikasi didapatkan nilai K dengan metode *indeks absolute of error* (IAE) yang minimum pada angka 811.5 dengan pencapaian waktu akhir berdasarkan respon waktu pada saat mencapai waktu tunak yaitu 6.4182 detik. Kendali LQR mampu mengatasi perubahan *setpoint* diberikan pada detik 15 dengan waktu tunaknya 20.8956 detik [13].

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Penelitian pendukung lainnya tentang LQR-PID pada penelitian posisi pada *inverted pendulum* juga mampu mencapai *setpoint* dengan minimum *overshoot* [14].

Penelitian selanjutnya “Studi Metoda Kendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR) dan Aplikasinya Pada Sistem *Automatic Voltage Regulator*. Dari hasil yang telah disimulasikan dengan Matlab didapatkan hasil respon yaitu tanpa metode LQR *settling time* 19.00812 detik, menggunakan metode LQR *settling time* 0.88666 detik dengan *stabilizer* 1.99127 detik. LQR pada AVR mampu menghasilkan respon waktu yang lebih cepat [15].

Penelitian selanjutnya tentang perancangan pengendalian LQR-PID untuk mengendalikan tekanan pada modul *training pressure process* RIG 38-714. Hasil menggunakan LQR-PID mampu menyelesaikan masalah respon waktu yang lambat dibuktikan dengan hasil respon waktu dari 9,9936 detik menjadi 0,2942 detik pada *setpoint* 1,875 psi [16].

Berdasarkan penelitian terkait yang telah dilakukan. Maka akan dilakukan perancangan kendali optimal LQR dengan penambahan PID untuk menghasilkan respon *output* yang tidak mengalami osilasi dengan *error* yang minimum serta tidak adanya *overshoot*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Jamur Merang

Jamur merang dengan nama latinnya (*Volvariella volvacea*) adalah jamur yang telah dikenal luas dan telah dibudidayakan terutama masyarakat Asia Tenggara. Pada umumnya media tempat tumbuhnya jamur merang yang mengandung selulosa seperti, limbah penggilingan padi, limbah pabrik kertas, tumpukan jerami, ampas batang aren dan lainnya. Jamur merang dapat ditemukan pada tempat yang lembab berupa tempat penggilingan padi, pabrik limbah kertas, dan tumpukan yang lembab lainnya. Jamur merang dapat diklasifikasi dan anatomi antara lain [6].



Gambar 2.1 Jamur Merang (*Volvariella volvacea* L.) [6]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Kingdom	: <i>Myceteae</i>
2. Subkingdom	: <i>Eukaryota</i>
3. Devisi	: <i>Amastigomycota</i>
4. Sub Devisi	: <i>Basidiomycotae</i>
5. Kelas	: <i>Basidiomycetes</i>
6. Ordo	: <i>Agaricales</i>
7. Famili	: <i>Volvariella</i>
8. Spesies	: <i>Volvariella volvacea</i>

Dalam melakukan pembudidayaan jamur merang cahaya, suhu dan kelembaban udara merupakan syarat utama yang harus di tinjau supaya jamur dapat tumbuh dengan subur. Pertumbuhan jamur membutuhkan intensitas cahaya yang rendah dengan kelembaban yang tinggi. Kedua hal ini harus dijaga sesuai dengan kebutuhan jamur. Suhu yang dibutuhkan jamur merang 32-38°C dengan kelembaban 80-90% serta intensitas cahaya yang dibutuhkan kisaran 50-300 lux. Ketika suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya kurang maka diperlukan tindakan seperti peningkatan suhu, pengkabutan air dan mengidupkan lampu [2][6][17].

Daya simpanan yang rendah merupakan salah satu kendala dalam usaha jamur merang. Umur simpan jamur merang lebih rendah dari sayuran lainnya. Jamur merang mempunyai umur simpan kurang lebih dari satu hari. Beberapa jam setelah dipanen, jamur merang menjadi lembek, berubah warna dan membusuk, meskipun begitu jamur merang tetap dipanen pada saat tudung jamur mengincup [7].

2.2.2 Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan jamur merang

Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan jamur merang antara lain suhu, kelembaban, radiasi cahaya, pH serta ketersediaan oksigen dan karbon dioksida [6][18].

1. Suhu

Didaerah tropika merupakan tempat tumbuh jamur merang, sehingga membutuhkan suhu yang relatif hangat [2][6]. Apabila suhu jamur merang tidak stabil maka akan mempengaruhi pertumbuhan serta produksi jamur. Untuk memperpanjang umur simpan jamur merang disimpan dapat pada suhu $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ [8]. Suhu normal ruangan berkisar 20-25 derajat celcius [27].

2. Kelembaban

Jamur merang dianjurkan memiliki kelembaban antara 80-90%. Apabila kelembaban melebihi yang dianjurkan maka jamur akan mengalami kebusukan. Begitu juga sebaliknya apabila kelembaban tidak mencapai maka jamur tumbuh dibawah media tumbuh dan batang jamur menjadi lebih panjang dan payung jamur akan mudah terbuka [2][6]. Tingkat kelembaban udara ruangan yang ideal adalah 45% - 65%. [27].

3. Radiasi Cahaya Matahari

Cahaya yang masuk kedalam kumbung jamur menyebabkan terhambatnya pertumbuhan jamur. Kondisi yang ideal pada pertumbuhan jamur merang adalah ketika jamur merang tidak terpapar langsung oleh cahaya matahari [6].

4. Keasaman (pH)

Jamur merang membutuhkan pH yang netral. Keasamaan pada media jamur merang mempengaruhi produktivitas dari jamur merang. pH yang rendah menyebabkan jamur merang bisa terkontaminasi pada mikroba lainnya [2][6].

5. Ketersediaan Oksigen dan Karbondioksida

Semua makhluk hidup di bumi membutuhkan oksigen termasuk jamur merang. Proses pertumbuhan miselium jamur merang dibutuhkan oksigen dalam jumlah yang relatif kecil. Namun, tidak berlaku jika jamur telah memasuki fase pembentukan buah dan batang. Pada fase ini, aliran oksigen kedalam kumbung jamur harus diperhatikan dan terpenuhi, pertumbuhan tubuh buah dapat terganggu dan menyebabkan payung jamur merang menjadi kecil sehingga cenderung mudah pecah dan bentuk tubuhnya abnormal. Kekurangan oksigen yang ekstrim menyebabkan tubuh buah tidak pernah terbentuk serta pertumbuhan miselium menjadi padat diindikasikan dengan cara masuk kedalam kumbung jamur. Di saat dirasakan pengap maka dapat dipastikan aliran oksigen tidak lancar [2].

2.2.3 Faktor yang mempengaruhi suhu dan kelembaban

1. Faktor yang mempengaruhi suhu

a. Lamanya Penyinaran Matahari

Semakin lama matahari memancarkan sinarnya disuatu daerah, makin banyak panas yang diterima. Keadaan atmosfer yang cerah sepanjang hari akan lebih panas daripada jika hari itu berawan sejak pagi [26].

b. Kemiringan Sinar Matahari

Suatu tempat yang posisi matahari berada tegak lurus di atasnya, maka radiasi matahari yang diberikan akan lebih besar dan suhu ditempat tersebut akan tinggi, dibandingkan dengan tempat yang posisi matahari lebih miring [26].

c. Keadaan Awan

Adaya awan di atmosfer akan menyebabkan berkurangnya radiasi matahari yang diterima di permukaan bumi. Karena radiasi yang mengenai awan, oleh uap air yang ada di dalam awan akan dipencarkan, dipantulkan, dan diserap [26].

d. Keadaan Permukaan Bumi

Perbedaan sifat darat dan laut akan mempengaruhi penyerapan dan pemantulan radiasi matahari. Permukaan darat akan lebih cepat menerima dan melepaskan panas energy radiasi matahari yang diterima dipermukaan bumi dan akibatnya menyebabkan perbedaan suhu udara di atasnya [26].

2. Faktor yang mempengaruhi kelembaban

Kelembaban udara ruangan dipengaruhi oleh suhu ruang penyimpanan, semakin tinggi suhu ruang penyimpanan maka kelembaban udara pada ruang penyimpanan tersebut akan menjadi rendah karena aktivitas air dalam udara [27].

Sedikit intensitas cahaya matahari yang diterima ruangan cukup tinggi, begitu juga sebaliknya apabila semakin rendah suhu ruang penyimpanan maka kelembaban udara pada ruang penyimpanan semakin tinggi yang disebabkan oleh aktivitas air dalam udara tinggi dan intensitas cahaya matahari yang diterima gudang sangat sedikit. Dari ketiga ulangan tersebut terlihat pada pagi dan malam hari mengalami kenaikan kelembaban udara yang tinggi yakni berkisar 90-95%, dan pada siang hari mengalami kelembaban udara 77-83%. [27].

2.2.4 Sistem Pendingin

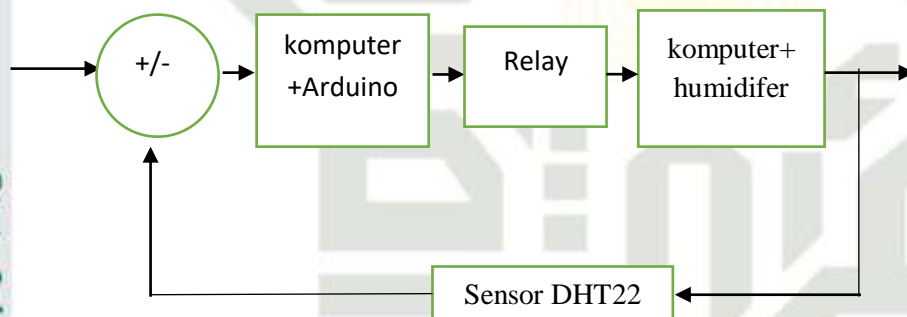
Sistem pendingin merupakan sebuah ruangan yang akan dirancang dengan suhu tertentu dan digunakan sebagai media penyimpan berbagai macam produk dengan tujuan mempertahankan kesegaran. Variable yang terlibat dalam pengendalian adalah temperatur dan kelembaban, komponen yang bertugas dalam pengendalian adalah *computer* dan *arduino* dan yang menjadi *actuator* adalah kompresor dan *humidifier*. Sensor DHT22

merupakan sensor suhu dan kelembaban yang akan ditambahkan sebagai umpan balik dari sistem [10].



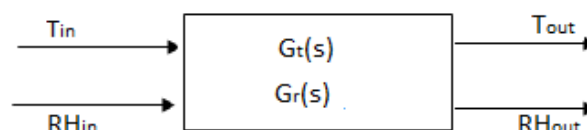
Gambar 2.2 Sistem Pendingin Jamur Merang [8]

Pengendalian melibatkan komponen arduino uno sebagai *central processing unit* dan modul relay untuk mengendalikan aktuator. Adapun aktuator yang digunakan adalah kompresor untuk kompensasi temperatur dan *humidifier* untuk kompensasi kelembaban udara.



Gambar 2.3 Diagram Blok Sistem [10].

Pengendalian akan berjalan dengan baik jika dilakukan perancangan dan simulasi sebelum diterapkan pada sistem fisik. Sistem yang terlibat pada pengendalian proses pengawetan jamur merang dapat dilihat pada Gambar 2.4 dimana $G_t(s)$ adalah sistem yang melibatkan variabel temperatur dan $G_r(s)$ merupakan sistem yang melibatkan variabel kelembaban udara [10].



Gambar 2.4 Diagram Blok Sistem Pendingin Jamur Merang [10]

Keterangan :

T_{in} : Temperatur masukan

T_{out} : Temperatur keluaran

RH_{in} : Kelembaban udara masukan

RH_{out} : Kelembaban udara keluaran

$G_t(s)$: Sistem temperatur

$G_r(s)$: Sistem kelembaban udara

$$G_t(s) = \frac{k_1 e^{-\theta_1 s}}{\tau_1 s + 1} \quad (2.1)$$

$$G_r(s) = \frac{k_2 e^{-\theta_2 s}}{\tau_2 s + 1} \quad (2.2)$$

K_1 : Penguatan sistem temperatur

K_2 : Penguatan sistem kelembaban

θ_1 : waktu tunda sistem temperatur

θ_2 : waktu tunda sistem kelembaban

τ_1 : *time constat* sistem temperatur

τ_2 : *time constat* sistem kelembaban

Tabel 2.1 Spesifikasi Sistem Pendingin[10]

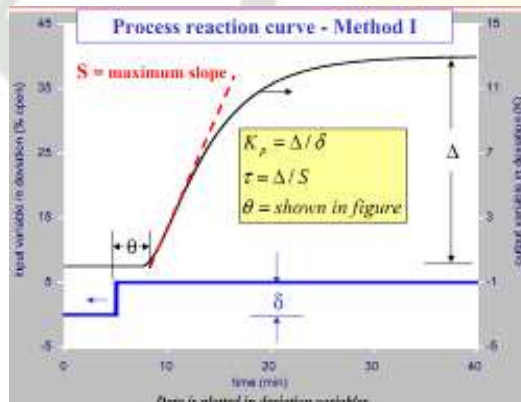
Ukuran (p x l x t)	63, 5 x 56, 5 x 82, 8 cm
Kapasitas	120 liter
Tegangan	220 V/50 Hz
Gas Pendingin	R-134A
Daya Listrik	90 W
Berat Bersih	28 Kg
Kompresor	1/4 P

Tabel 2.2 Spesifikasi Sistem Kelembaban[10]

Noise	35 dB
Kapasitas	2,5 Ltr
Tegangan	220 V/50 Hz
Water (mist) flow	250 ml/h
Gas Pendingin	R-134A
Tegangan	20 W
Dimension	220 V/50 Hz
Daya Listrik	193x193x323 mm

2.2.5 Identifikasi Sistem dengan *Process Reaction Curve*

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *procces Reaction curve* (PRC) orde satu untuk memperoleh model matematis sistem dan untuk mengidentifikasi grafik respon sistem tersebut. Berikut persamaan dari PRC orde satu.



Gambar 2.5 PRC Metode 1[19]

Kontrol proses ditandai oleh sistem yang memiliki waktu tunda. Kompleksitas sistem yang biasanya berisi beberapa sub urutan pertama sistem, sering akan menghasilkan kurva rekasi proses (dinamis terhadap perubahan *step* dalam *input*), yang memiliki waktu tunda murni. Kurva reaksi dapat ditundukan dengan mengesampingkan prosedur uji langkah berikut. Dengan pengendalian pada ‘manual’ yaitu *loop* terbuka. Langkah perubahan magnitude δ dalam sinyal kontrol $u(t)$ diterapkan pada proses. Besarnya δ harus cukup besar untuk perubahan $\Delta(t)$ dalam variable keluaran proses menjadi terukur, tetapi tidak begitu besar sehingga respon akan terdistorsi oleh proses *nonlinear*. *Output* proses

dicatat untuk periode dari pengendali langkah perubahan dalam *input*, sampai proses mencapai kondisi *steady state* yang baru. Model yang paling umum digunakan untuk karakteristik kurva reaksi proses adalah sebagai berikut [20].

$$G_t(s) = \frac{Ke^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (2.3)$$

Berikut pemodelan orde pertama plus waktu tunda. Respon untuk perubahan langkah dalam sinyal input besarnya δ diberikan oleh [20]

$$G_t(s) = \frac{Ke^{-\theta s}}{\tau s + 1} \frac{\delta}{s} = K\delta e^{-\theta s} \left[\frac{1}{s} - \frac{\tau}{\tau s + 1} \right]$$

(2.4)

Pembalikan dengan bantuan tabel transformasi dan menerapkan teorema megubah $\mathcal{L}[y(t - t_0) \mu(t - t_0)] = e^{-st_0} Y(s)$; $t_0 > 0$, sehingga didapatkan [20].

$$\Delta(t) = \begin{cases} K\delta \left[1 - e^{-\frac{t-\theta}{\tau}} \right]; & t > \theta \\ 0 & ; t \leq \theta \end{cases} \quad (2.5)$$

Istilah Δ adalah perturbasi atau perubahan dalam *output* dari nilai awalnya [20].

$$\Delta(t) = \Delta(t) - \Delta(0)$$

Gambar 2.3 menunjukkan respon model terhadap perubahan langkah magnitude pada sinyal *input*, Δ merupakan perubahan status *steady state* dalam *output* proses [20].

$$0.63\Delta = \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta(t) = K\delta$$

Pada titik $t = \theta$ sumbu waktu, variabel *output* proses meninggalkan kondisi *steady state* awal dengan tingkat perubahan maksimum pada persamaan (2.5) :

$$\frac{d}{dt} \Delta(t) |_{t = \theta} = K\delta \left(\frac{1}{\tau} \right) = \frac{0.63\Delta}{\tau}$$

Konstanta waktu menaikkan jarak pada sumbu waktu antara titik $t = \theta$, dan titik dimana ujung kurva respon model, digambarkan pada $t = \theta$, melintasi keadaan *steady state* yang baru. Perhatikan bahwa respon model pada $t = \theta + \tau$ diberikan oleh [20].

$$\Delta(\theta + \tau) = K\delta(1 - e^{-1}) = 0.63\Delta$$

Parameter model K diberikan oleh [20]:

$$K = \frac{\text{perubahan output pada kondisi steady state}}{\text{perubahan input step}} = \frac{\Delta}{\delta} \quad (2.6)$$

Estimasi parameter model τ dan θ dapat dilakukan oleh, setidaknya tiga metode yang masing-masing menghasilkan nilai yang berbeda [20].

1. Metode tangent
 2. Metode tangent dan point
 3. Metode dua point
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Metode tangent

Pemanfaatan metode ini yaitu dengan menggunakan garis singgung pada kurva reaksi proses pada titik laju perubahan maksimum. Jarak pada sumbu waktu merupakan konstanta waktu yang didefinisikan, ketika tangent memotong *steady state* awal dari *variable output*, dan titik dimana ia melintasi nilai pada *steady state* baru. Jarak pada waktu mati antara perubahan langkah *input* dan titik dimana garis tangent memotong keadaan awal merupakan waktu mati.

2. Metode tangent dan point

Metode θ diperoleh sama dengan metode sebelumnya, tetapi nilai τ merupakan salah satu yang memaksa respon model bertetapan dengan respon yang sebenarnya pada $\theta + \tau$. Nilai τ yang diperoleh dengan metode ini biasanya kurang dari yang diperoleh dengan metode yang sebelumnya, dan proses kurva reaksi biasanya lebih dekat dengan respon model yang diperoleh dengan metode ini dibandingkan dengan yang diperoleh dengan metode sebelumnya.

3. Metode dua point

Langkah paling tepat dalam penentuan θ dan τ dengan metode dua metode sebelumnya, dimana garis yang bersinggungan dengan kurva reaksi proses pada titik laju perubahan maksimum. Untuk menghilangkan ketergantungan ini pada garis singgung, diusulkan bahwa nilai-nilai θ dan τ dipilih sedemikian rupa sehingga model dan respon yang sebenarnya bertepatan pada dua titik di wilayah tingkat perubahan yang tinggi. Dua poin yang direkomendasikan adalah $\left(\theta + \frac{1}{3}\tau\right)$ dan $(\theta + \tau)$. Untuk menemukan titik-titik ini dapat menggunakan persamaan (2.5)

$$\Delta\left(\theta + \frac{1}{3}\tau\right) = K\delta\left[1 - e^{-\frac{1}{3}}\right] = 0.28\Delta$$

$$\Delta(\theta + \tau) = K\delta[1 - e^{-1}] = 0.63\Delta$$

Diketahui t_1 dan t_2 sehingga didapatkan θ dan τ

$$\theta + \tau = t_2; \theta + \frac{1}{3}\tau = t_1$$

sehingga

$$\tau = \frac{3}{2}(t_2 - t_1); \theta = t_2 - \tau$$

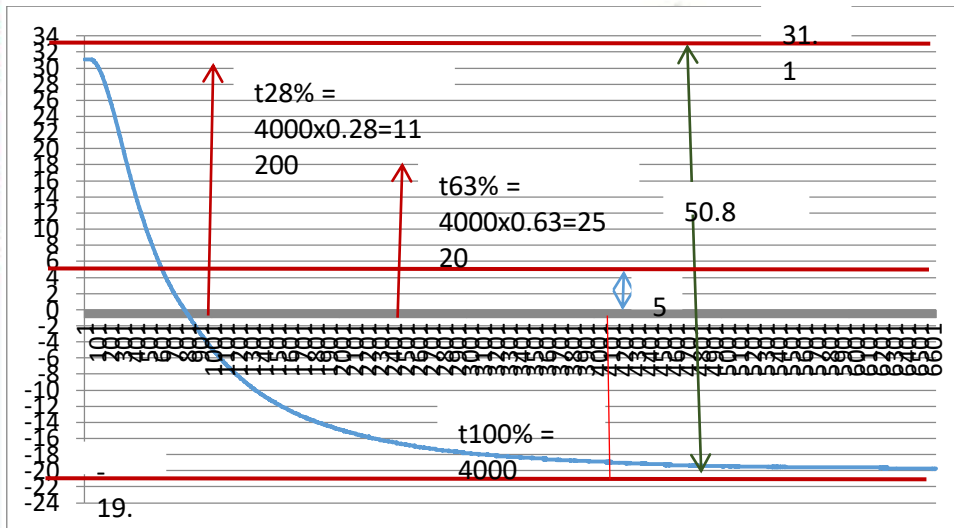
dimana :

$$t_1 = \text{waktu dimana } \Delta(t) = 0.28\Delta$$

$$t_2 = \text{waktu dimana } \Delta(t) = 0.63\Delta$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tahapan awal dari pemodelan sistem ini yaitu pengambilan data temperatur dan kelembaban sebelum dan sesudah diterapkannya pengendali. Data didapatkan dengan menggunakan arduino uno yang dikomunikasikan secara serial ke *computer*, repon keluaran temperature dan kelembaban udara dapat dilihat pada gambar 2.6 dan gambar 2.7 kemudian disubstitusikan persamaan model eksperimental dari sistem ruang pendingin jamur merang untuk mendapatkan nilai dari *transfer function* :



Gambar 2.6 Grafik pemodelan temperatur [10]

Nilai delta diplot langsung dari grafik [10]:

$$\Delta = 50.8^{\circ}\text{C}$$

Nilai awal diperoleh dari konstanta yaitu 31.1 dimana fungsi konstanta untuk menaikan nilai awal.

Untuk mendapatkan nilai akhir maka:

Nilai awal – delta (Δ)

$$= 31.1 - 50.8$$

$$= -19.7^{\circ}\text{C}$$

Maka nilai delta (Δ) :

$$\Delta = \text{nilai akhir} - \text{nilai awal}$$

$$= -19.7^{\circ}\text{C} - 31.1$$

$$= -50.8^{\circ}\text{C}$$

$$t_{100\%} = 4000 \text{ detik} \quad (2.8)$$

$$t_{28\%} = 4000 \times 0.28 = 1120 \text{ detik} \quad (2.9)$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$t_{63\%} = 4000 \times 0.63 = 2520 \text{ detik} \quad (2.10)$$

$$K = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{-50.8}{5} = -10.16 \quad (2.11)$$

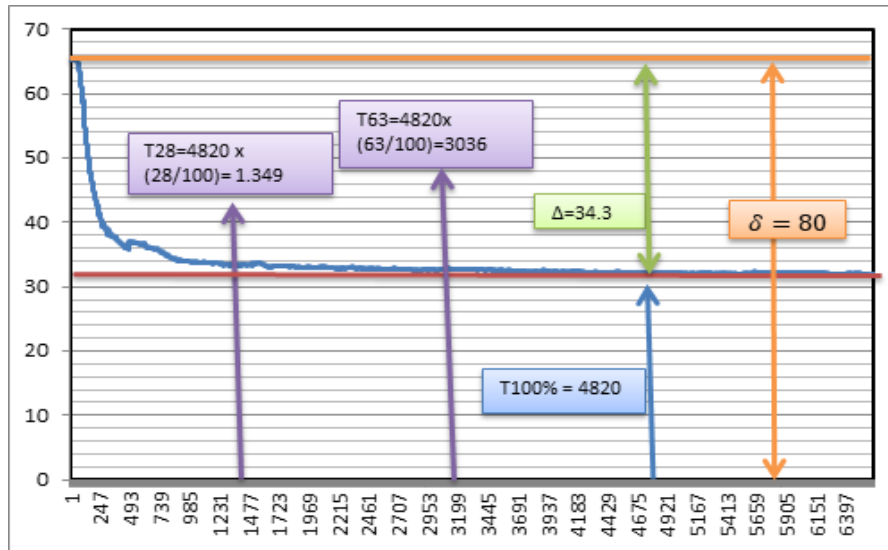
$$\begin{aligned} \tau &= 1.5 (t_{63\%} - t_{28\%}) \\ &= 1.5 (2520 - 1120) \\ &= 1.5 (1400) \\ &= 2100 \text{ detik} \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} \theta &= t_{63\%} - \tau \\ &= 2520 - 1120 \\ &= 420 \text{ detik} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Tabel 2.3 Data Pemodelan Temperatur

Deskripsi	Nilai
Δ	-50.8 °C
K_1	-10.16
$t_{100\%}$	4000 detik
$t_{28\%}$	1120 detik
$t_{63\%}$	2520 detik
τ_1	2100 detik
θ_1	420 detik

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang



Gambar 2.7 Grafik pemodelan kelembaban [10]

Nilai delta di plot langsung dari grafik:

$$\Delta = 34.3$$

Untuk mendapatkan nilai akhir

Nilai awal – Δ

$$= 65^{\circ}\text{C} - 34.3$$

$$= 30.7^{\circ}\text{C}$$

Maka nilai delta (Δ)

$$\Delta = \text{Nilai Akhir} - \text{Nilai Awal}$$

$$= 30.7^{\circ}\text{C} - 65^{\circ}\text{C}$$

$$= -34.3$$

$$t_{100\%} = 4820 \times \left(\frac{100}{100}\right) = 4820 \text{ detik}$$

$$t_{28\%} = 4820 \times \left(\frac{28}{100}\right) = 1349 \text{ detik}$$

$$t_{63\%} = 4820 \times \left(\frac{63}{100}\right) = 3036 \text{ detik}$$

$$\tau_2 = 1.5(t_{63} - t_{28})$$

$$= 1.5(3036 - 1349)$$

$$= 1.5(1687)$$

$$= 253.05 \text{ s}$$

$$\theta = t_{63} - \tau$$

$$= 3036 - 2530.5$$

$$= 506$$

$$K_2 = \frac{\Delta}{\theta_2}$$

$$(2.20) \quad = \frac{-34.3}{80} = -0.428$$

Tabel 2.4 Data Pemodelan Kelembaban Udara

Deskripsi	Nilai
Δ	-34.3°C
K_2	-0.428
$t_{100\%}$	4820 detik
$t_{28\%}$	1349 detik
$t_{63\%}$	3036detik
τ_2	253.05 detik
θ_2	506 detik

Jadi fungsi transfer dari temperatur $G_t(s)$ dan kelembaban udara relative $G_r(s)$ adalah :

$$G_t(s) = \frac{-10.16e^{-420s}}{2100s+1} \quad (2.21)$$

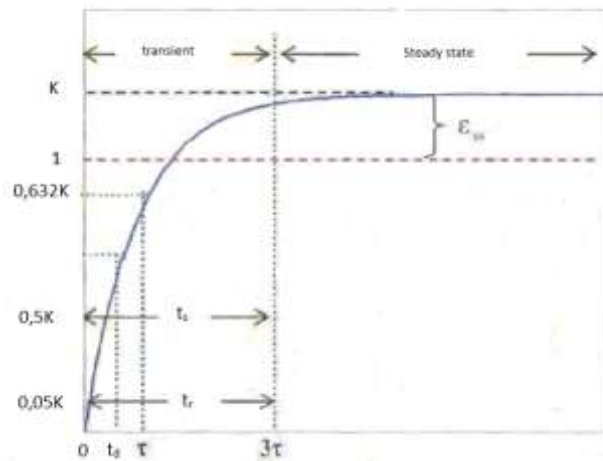
$$G_r(s) = \frac{-0.428e^{-506s}}{253.05s+1} \quad (2.22)$$

2.2.6 Analisa Respon Transien

Untuk mengetahui respon dari *open loop* sistem maka dilakukan dengan pendekatan grafis. Dengan demikian dapat diketahui karekteristik-karekteristik penting dari sistem. Dengan mengamati grafis terhadap masukan *step* merupakan cara kerja dari metode ini. Pemodelan sistem ini menggunakan pemodelan orde satu. Karekteristik respon waktu untuk sistem orde satu diberikan berdasarkan pengamatan grafis masukan sinyal *step*. Spesifikasi teoritis dan spesifikasi praktis merupakan karekteristik dari respon transien dari sistem orde satu. Spesifikasi teoritis konstanta waktu (τ) , sedangkan untuk spesifikasi praktis adalah *settling time*, *rise time*, *delay time*, dan *error stady state*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.8 Karakteristik Respon Orde Pertama [23]

Respon transien terdiri dari:

a. Spesifikasi teoritis:

Konstanta waktu (τ), adalah waktu yang dibutuhkan respon mulai dari $t=0$ sampai dengan respon mencapai 63,2% dari respon *steady state*. Konstanta waktu menyatakan kecepatan respon sistem. Konstanta waktu yang lebih kecil akan mempercepat respon

b. Spesifikasi praktis:

1. Waktu tunak atau *settling time* (t_s), adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah masuk pada daerah stabil. Jika dihubungkan dengan konstanta waktu τ , maka t_s dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$(\pm 3\%) \approx 5\tau$$

$$(\pm 4\%) \approx 2\tau$$

$$(\pm 5\%) \approx 0,5\tau$$

2. Waktu naik atau *rise time* (t_r), adalah ukuran yang menyatakan bahwa respon sistem telah naik dari 5% ke 95% atau 10% ke 90% dari nilai respon pada keadaan tunak (*steady state*). Jika dihubungkan dengan konstanta waktu τ , maka t_r dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$(5\% - 95\%) \approx \tau \ln 19$$

$$(10\% - 90\%) \approx \tau \ln 9$$

3. Waktu tunda atau *delay time* (t_d), adalah waktu yang dibutuhkan respon mulai $t=0$ sampai respon mencapai 50% dari nilainya pada keadaan tunak (*steady state*). Waktu tunda menyatakan besarnya faktor keterlambatan respon akibat proses sampling. Jika dihubungkan dengan konstanta waktu τ , maka t_d dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$(\pm 3\%) \approx \tau \ln 12$$

4. Karakteristik respon keadaan tunak (*steady state*) sistem orde pertama diukur berdasarkan kesalahan pada keadaan tunak atau *error steady state (ess)*.

$$ess = R_{ss} - C_{ss}$$

dengan C_{ss} dan R_{ss} masing-masing adalah keluaran dan masukan sistem pada keadaan tunak.

2.2.7 Linear Quadratic Regulator (LQR)

Untuk mendapatkan kriteria performansi yang diinginkan yang memenuhi batasan fisik merupakan tujuan dalam kendali optimal. Permasalahan regulator akan diselesaikan dengan menggunakan metode kendali optimal pada sistem linear dengan kriteria kuadratik. Dikatakan linear karena model serta bentuk kontrolernya berupa linear sedangkan kuadratik karena memiliki *Cost Function* yaitu kuadrat dan karena referensi sistem bukan fungsi waktu maka disebut regulator [23].

Didapatkan hasil linearisasi dari suatu *plant* linear dalam bentuk [23]

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (2.23)$$

$$y = Cx$$

Dimana,

A : Matriks sistem

B : Matriks input

C : Matriks output

y : *state output*

x : *state sistem*

u : *state input*

Penentuan matriks nilai Q dan R merupakan nilai yang akan ditentukan terlebih dahulu dalam perancangan pengendali optimal LQR. Ketika didapatkan matriks Q dan R maka selanjutnya menentukan indeks performansi sistem. Penggunaan indeks performansi ditentukan sesuai dengan kriteria dari harga matriks Q dan R [23].

$$J(t_0) = \frac{1}{2} x^2(T) S(T) x(T) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^T (x^2 Q x + u^2 R u) \quad (2.24)$$

Dengan syarat :

$$S(T) \geq 0, Q \geq 0, R > 0$$

t_0 waktu awal

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

waktu akhir
 $x(\tau)$ matriks *State* akhir
 Q matriks semi definit positif
 R matriks definit positif
 S matriks semi definit positif
 Sehingga diperoleh persamaan Hamilton

$$H(x, u, \lambda, t) = L(x, u, t) + \lambda^T f(x, u, t)$$

$$H(x, u, \lambda, t) = \frac{1}{2} (x^T Q x + u^T R u) + \lambda^T (A x + B u) \quad (2.25)$$

Dari fungsi Hamilton tersebut dapat diperoleh syarat perlu dan syarat batas sebagai berikut:

1. Syarat perlu

a) Persamaan *State*

$$\dot{x} = \left(\frac{\partial x}{\partial x} \right)^T Q x + \left(\frac{\partial Q x}{\partial \lambda} \right)^T u = A x + B u \quad (2.26)$$

b) Persamaan *costate*

$$-\dot{\lambda} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial x}{\partial x} \right)^T Q x + \left(\frac{\partial Q x}{\partial x} \right)^T x + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^T R u + \left(\frac{\partial R u}{\partial x} \right)^T u \right] + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial x} \right)^T (A x + B u) + \left(\frac{\partial (A x + B u)}{\partial x} \right)^T \lambda$$

$$-\dot{\lambda} = Q x + A^T \lambda \quad (2.27)$$

c) Kondisi *stasioner*

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 0$$

$$\frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial x}{\partial x} \right)^T Q x + \left(\frac{\partial Q x}{\partial x} \right)^T x + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^T R u + \left(\frac{\partial R u}{\partial x} \right)^T u \right] + \left(\frac{\partial x}{\partial u} \right)^T (A x + B u) + \left(\frac{\partial (A x + B u)}{\partial u} \right)^T \lambda = 0$$

$$R u + B^T \lambda = 0$$

$$u = -R^{-1} B^T \lambda \quad (2.28)$$

2. Syarat batas

a) Batas awal

$$t = 0 \quad x(0) = 0$$

b) Batas akhir

$$(\phi_x + \psi_x^T v - \lambda)^T dx|_{t=\tau} + (\phi_t + \psi_t^T v - H) dt|_{t=\tau} = 0$$

Karena $\psi = 0$ dan

$$\phi(\tau) = \frac{1}{2} x^T(\tau) S(\tau) x(\tau)$$

$$\phi_x = \frac{\partial \phi}{\partial x} = S(\tau) x(\tau)$$

sehingga diperoleh persamaan

$$(S(\tau) x(\tau) + v.0 - \lambda)^T dt \big|_{t=\tau} = 0$$

$$S(\tau) x(\tau) = \lambda(\tau) \quad (2.29)$$

Dari persamaan *costrate* dan (2.28), keduanya mengandung variabel λ . Bila keduanya disubstitusikan maka akan menghasilkan persamaan:

$$\begin{aligned} S(t)x(t) &= \lambda(t) \\ \dot{\lambda}(t) &= \dot{S}(t)x(t) + S(t)\dot{x}(t) \\ \dot{\lambda}(t) &= -Qx - A^T \lambda \\ \dot{S}(t)x(t) + S(t)\dot{x}(t) &= -Qx - A^T \lambda \\ \dot{S}(t)x(t) + S(t)\{Ax + Bu\} &= -Qx - A^T \lambda \\ \dot{S}(t)x(t) + S(t)\{Ax + B(-R^{-1}B^T \lambda)\} &= -Qx - A^T \lambda \\ -\dot{S}x &= (A^T S + SA - SBR^{-1}B^T S + Q)x \\ -\dot{S} &= A^T S + SA - SBR^{-1}B^T S + Q \end{aligned} \quad (2.30)$$

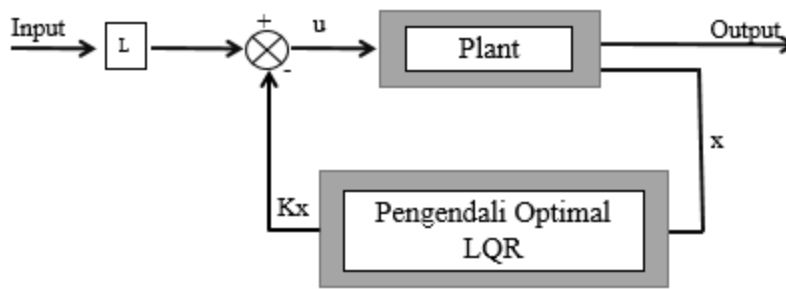
Persamaan (2.29) disebut persamaan *differensial Riccati*. Untuk $\dot{S} = 0$ persamaannya disebut *Algerraic Riccati Equation* (ARE). Dengan di dapatkan nya matriks S dari persamaan ARE ini sehingga persamaan sinyal kendali pun dapat di hitung [23].

$$u = -R^{-1}B^T \lambda = -R^{-1}B^T Sx = -Kx \quad (2.31)$$

Maka konstanta umpan balik keadaan K dapat dicari sebelum menghasilkan sinyal kendali pada persamaan (2.28) [13].

$$K = R^{-1}B^T S \quad (2.32)$$

Dimana nilai *S adalah unik, solusi semi definit positif untuk persamaan ARE harus memenuhi syarat persamaan (2.30). Selanjutnya dalam perancangan teknik kendali optimal LQR, Setelah nilai S diketahui maka, nilai S tersebut disubstitusikan kedalam persamaan (2.32) sehingga didapatkan nilai matriks optimal K, dengan K adalah *Gain State Feedback*, sehingga sistem kendali optimal LQR hasil desain dapat diperlihatkan pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Diagram Alir Kendali Optimal LQR [24]

Dari penjabaran di atas dapat disimpulkan bahwa langkah-langkah untuk merancang kendali LQR adalah sebagai berikut :

1. Ubah bentuk *Transfer Function Plant* nonlinier menjadi bentuk *State Space* dan dapatkan matriks A, B, C dan D dari *Plant* tersebut.
2. Tentukan matriks pembobot Q dan R.
3. Selesaikan persamaan aljabar riccati hingga menghasilkan suatu matriks S yang definit positif.
4. Hitung optimal *Gain Feedback K* .

2.2.8 PID (*Proportional Integral Derivative*)

Pengendali PID (*Proportional, Integral, Derivative*) merupakan suatu pengendali yang mampu memperbaiki tingkat akurasi dari suatu sistem plant yang memiliki karakteristik umpan balik (*feedback*) pada sistem tersebut. Pengendali PID menghitung dan meminimalisasi nilai *error*/selisih antara output dari proses terhadap *input/setpoint* yang diberikan ke sistem. Pengendali PID terdiri dari tiga komponen yaitu *Proportional*, *Integral*, dan *Derivative* yang dapat dipakai secara bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang diinginkan pada suatu sistem/*plant* [12].

Pengendali *Proportional* merupakan penguat yang mengubah keluaran tanpa memberi efek dinamik pada kinerja pengendali tersebut. Respon dari pengendali dinyatakan persamaan[12].

$$P_{out} = K_c E(t) \quad (2.33)$$

dimana:

P_{out} = *output* dari pengendali proporsional

K_c = Konstanta *gain*

$E(t)$ = *error* yang dinyatakan dalam waktu secara kontinu

Pengendali *integral* merupakan pengendali yang memperbaiki respon tunak dari sistem sehingga pengendali ini mampu memperkecil *error sistem*. Berikut persamaannya [12].

$$I_{out} = K_t \int_0^{\tau} E(\tau) d\tau \quad (2.34)$$

dimana:

I_{out} = *output* dari pengendali *integral*

K_t = konstanta *integral*

$E(\tau)$ = *error* dinyatakan secara kontinu

τ = variabel *integral*

Pengendali *derivative* merupakan pengendali yang memperbaiki respon transien dari sistem. Berikut persamaannya [12].

dimana:

D_{out} = *output* pengendali *derivative*

K_d = konstanta *derivative*

$E(t)$ = *error* yang dinyatakan dalam waktu kontinu

2.2.9 Kriteria Integral Menggunakan IAE (*Integral of Absolute Error*)

Kriteria integrasi membutuhkan data tanggapan mulai $t = 0$ hingga tercapai keadaan tunak. Dengan demikian kriteria ini didasarkan pada seluruh tanggapan dari proses yang bersangkutan. Kriteria integral ini yang digunakan pada penelitian ini adalah kriteria IAE (*Integral of Absolute Error*) yang memiliki tujuan untuk memperoleh nilai IAE sekecil mungkin dengan pemilihan kriteria tergantung pada karakteristik sistem proses dan beberapa syarat tambahan yang diperoleh dari tanggapan lup tertutup. Kriteria IAE lebih populer dikalangan praktisi industri sebab mudah dalam pemakaiannya serta sangat cocok untuk menekan *error* yang kecil [23].

2.2.10 Metode Heuristik

Metode heuristik adalah suatu aturan metode untuk menyelesaikan masalah secara penalaran. Rancangan metode heuristik ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja *plant* yang akan dikendalikan. Untuk perancangan sistem

pengendalian PID dilakukan pencarian nilai besarnya K_p , K_i dan K_d dengan melakukan beberapa tahap yaitu dimana penalaan parameter pengendali dimulai dengan hanya menggunakan pengendali P, kemudian baru ditambahkan pengendali I, dan terakhir ditambahkan dengan pengendali D. Pemberian nilai parameter disesuaikan dengan karakteristik respon sistem yang diperoleh [25].

2.2.11 MATLAB

MATLAB atau yang kita sebut dengan (*Matrix Laboratory*) yaitu sebuah program untuk menganalisis dan mengkomputasi data numerik, dan MATLAB juga merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan, yang dibentuk dengan dasar pemikiran yang menggunakan sifat dan bentuk matriks. MATLAB bersifat *extensible*, dalam arti bahwa seorang pengguna dapat menulis fungsi baru untuk menambahkan pada *library*, ketika fungsi-fungsi *built-in* yang tersedia tidak dapat melakukan tugas tertentu. Kemampuan pemrograman yang dibutuhkan tidak terlalu sulit bila kita telah memiliki pengalaman dalam pemrograman bahasa lain seperti C, PASCAL, atau FORTRAN.



Gambar 3.0 Ikon MATLAB

Matlab dikembangkan oleh Mathwork pada tahun 1970. Aplikasi Matlab itu sendiri banyak digunakan dalam bidang yang membutuhkan perhitungan matematika yang rumit, dimana seluruh operasi perhitungan dalam Matlab berupa operasi matrik. Matlab dapat menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk plot grafik dan dapat juga dirancang menggunakan GUI (*Graphical User Interface*) yang kita rancang. Pada *software* Matlab terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program yaitu:

1. *Command window* digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.
2. *Command history* berfungsi agar fungsi yang telah digunakan sebelumnya dapat digunakan kembali.
3. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel yang ada dalam Matlab.

Simulink-Matlab Simulink adalah sebuah kumpulan aplikasi dalam Matlab untuk melakukan modeling, simulasi, dan untuk melakukan analisis dinamik pada suatu sistem. Program simulink memudahkan user untuk membuat suatu simulasi lebih interaktif. Tiruan sistem diharapkan mempunyai perilaku yang sangat mirip dengan sistem fisik. Jika digunakan dengan benar, simulasi akan membantu proses analisis dan desain sistem.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

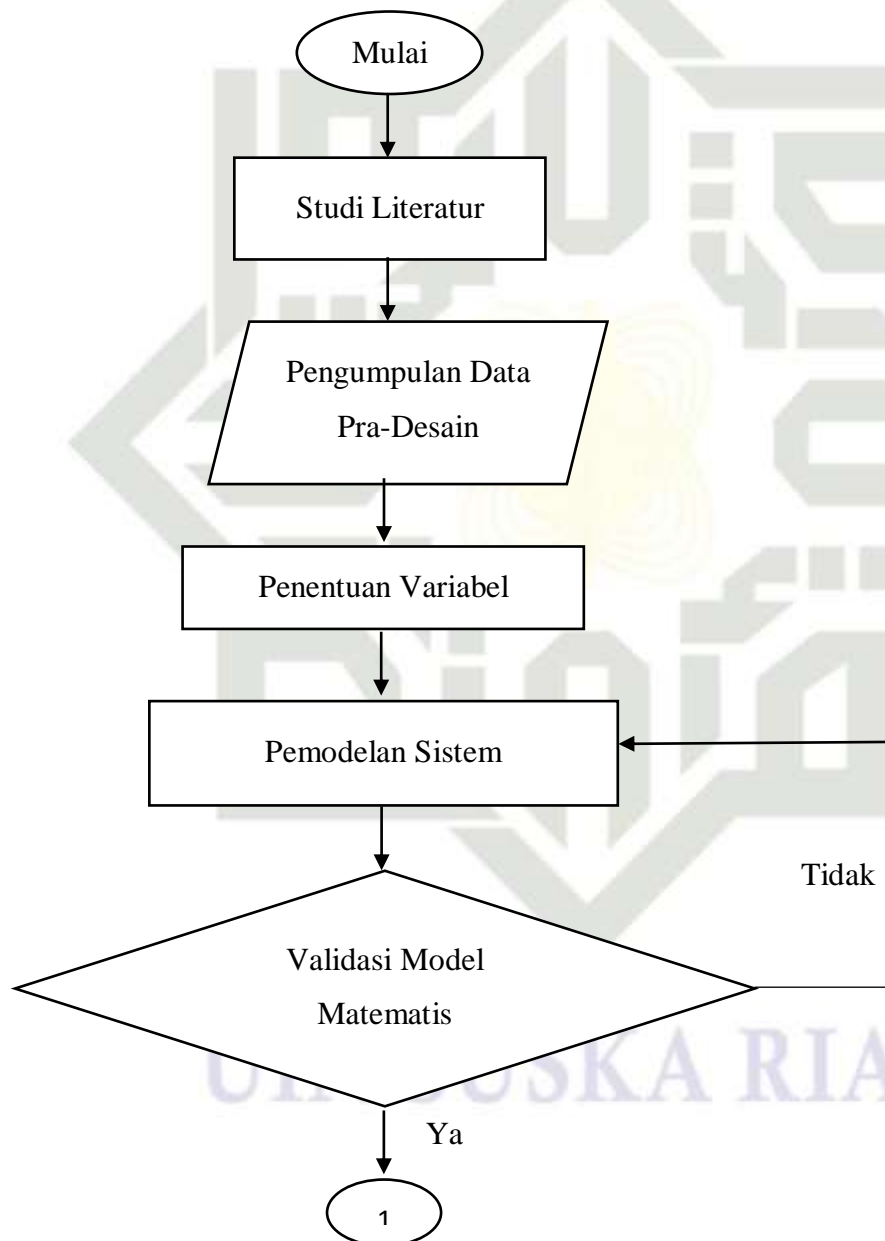
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

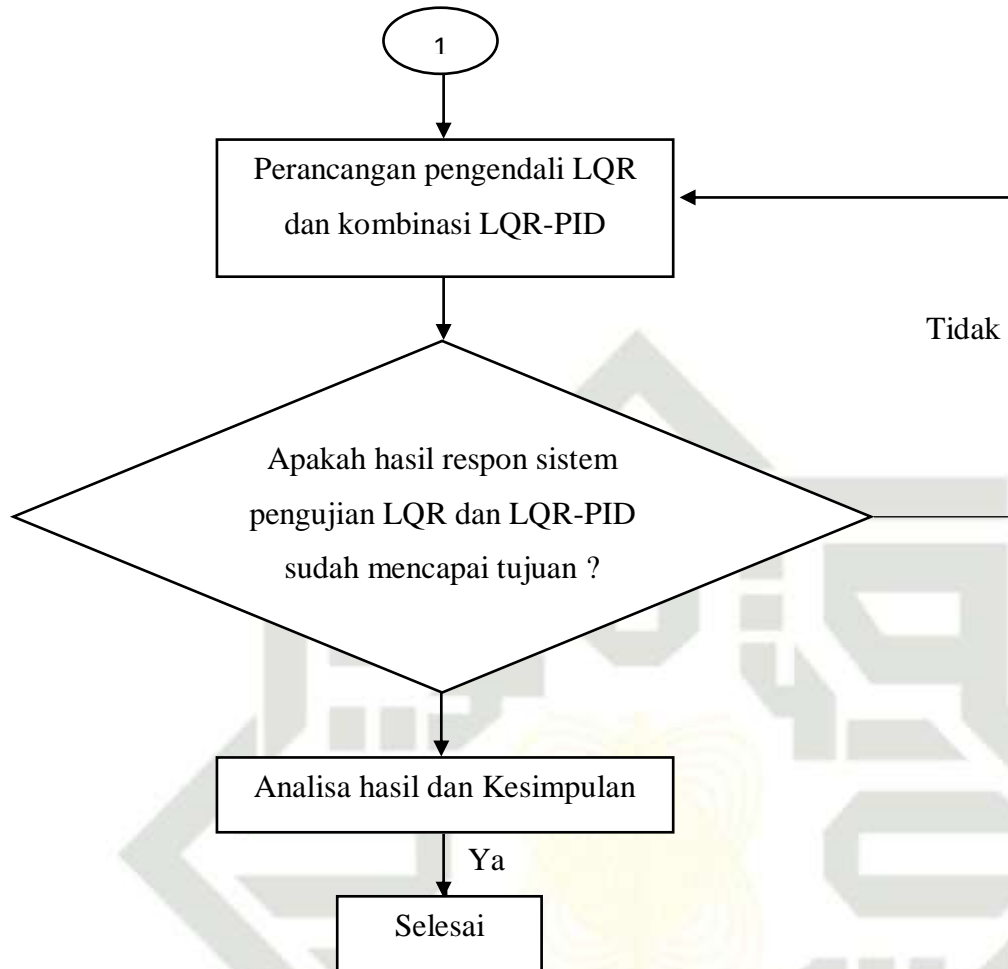
3.1 Proses Alur Penelitian

Dalam penelitian ini ada tahapan-tahapan yang dilakukan penulis agar tujuan yang diharapkan tercapai. Adapun tahapan yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut:



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

Agar dapat mencapai tujuan yang diharapkan, maka adapun tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

3.2 Keterangan Gambar Alur Penelitian

1. Studi literatur

Tahapan ini penulis mencari serta mempelajari referensi yang berhubungan dengan pembahasan tugas akhir ini, yaitu sistem pengendali pada pendingin jamur merang dan pengendali LQR dan kombinasi LQR-PID baik dari jurnal, artikel penelitian yang telah dipublikasikan diinternet maupun buku-buku.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2. Pengumpulan Data Pra-Desain

Pengumpulan data dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari sistem yang akan diteliti meliputi data *setpoint* 5 °C untuk temperatur dan *setpoint* kelembaban udara relatif sebesar 85 %. ketetapan *transfer function* pada sistem yaitu:

$$G_t(s) = \frac{-10.16e^{-420s}}{2100s+1} \quad (3.1)$$

$$G_r(s) = \frac{-0.428e^{-506s}}{253.05s+1} \quad (3.2)$$

3. Penentuan Variabel

Data-data sudah diperoleh dibuat dalam model matematis berbentuk persamaan *transfer function* dirujuk pada penelitian yang telah dilakukan oleh Karsid dan Rofan Aziz

4. Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem dilakukan secara matematis mengikuti sumber rujukan. Pemodelan matematis sistem ruang pendingin dilakukan dengan mengidentifikasi sistem

5. Validasi Model Matematis

Validasi model matematis sistem adalah tahapan pengujian model matematis dalam bentuk *transfer function* dari sistem yang sudah diubah kedalam bentuk bahasa pemrograman *matlab Simulink* guna divalidasi bentuk keluarannya, apakah hasil keluarannya sudah sesuai dengan rujukan [10].

6. Perancangan Pengendali

Untuk perancangan pengendali digunakan kendali optimal yaitu LQR, nilai matriks Q dan R ditentukan terlebih dahulu agar mendapatkan indeks performasinya. Sistem menggunakan orde satu. Selanjutnya melakukan kombinasi LQR dengan PID.

7. Analisa Hasil Pasca-Desain

Penulis akan melakukan analisa terhadap hasil pengujian pengendali temperature dan kelembaban udara relatif pada sistem pendingin jamur merang. Menggunakan pengendali LQR yang dikombinasikan dengan PID. Apakah hasil respon sistem yang

didapat sudah optimal dengan karakteristik respon yang diharapkan sudah tercapai mampu respon *output* yang tidak mengalami osilasi dengan *error* yang minimum.

8. Hasil Desain Dan Kesimpulan

Pada tahap ini penulis mengklarifikasi hasil disain tersebut terhadap tujuan yang telah ditetapkan. Apabila telah memenuhi tujuan berarti penelitian telah berhasil, dan apabila belum memenuhi tujuan, maka perlu dilakukan pemeriksaan kembali pada perancangan pengendalinya. Setelah hasil sudah sesuai dengan tujuan diawal dan masalah dapat diselesaikan maka dapat ditarik kesimpulan.

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mencari beberapa penelitian terkait guna untuk memperoleh *setpoint* yaitu sebesar 5 °C untuk temperatur dan *setpoint* kelembaban udara relatif sebesar 85 %. Dari sistem dan mencari beberapa *variabel* yang diperkukan dalam pemodelan matematis sistem dengan menggunakan pemodelan sistem pendingin.

3.4 Penentuan Variabel

Langkah pemodelan adalah sebagai berikut:

1. Mencari respon *real plant* secara *open loop* yang belum menggunakan pengendali.
2. Menghitung parameter K , θ (*dead time*) dan (*time constant*)
3. Memodelkan sistem $G_t(s)$ dan $G_r(s)$ sebagai model orde satu dengan *dead time*.

Parameter model dihitung berdasarkan respon keluaran sistem saat diberikan *input* fungsi step. Model yang akan dibuat adalah model orde satu dengan *dead time*.

$$G_t(s) = \frac{k_1 e^{-\theta_1 s}}{\tau_1 s + 1} \quad (3.3)$$

$$G_r(s) = \frac{k_2 e^{-\theta_2 s}}{\tau_2 s + 1} \quad (3.4)$$

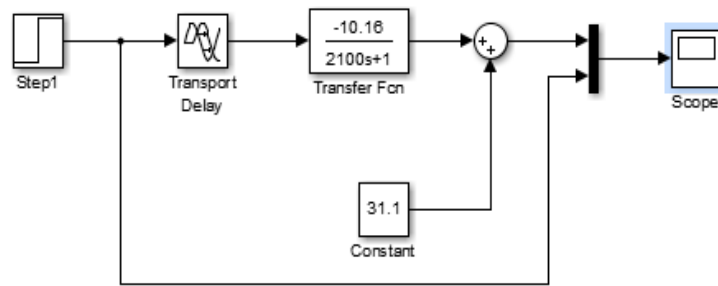
Pada tahap penentuan variabel ini ditentukan dari nilai τ_1 , τ_1 dan nilai k_1 , k_2 pada pengumpulan data dan dimasukkan kedalam persamaan (2.1) dan (2.2) sebagai berikut

$$G_t(s) = \frac{-10.16 e^{-420s}}{2100s + 1} \quad (3.5)$$

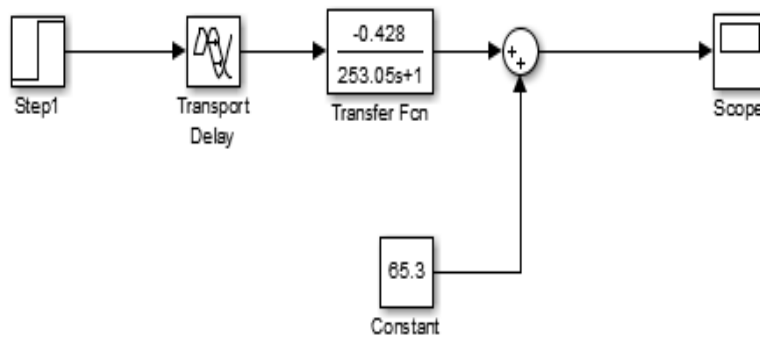
$$G_r(s) = \frac{-0.428 e^{-506s}}{253.05s + 1} \quad (3.6)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.2 Diagram Blok *Open Loop* Temperatur Sistem Pendingin Jamur Merang



Gambar 3.3 Diagram Blok *Open Loop* Kelembaban Sistem Pendingin Jamur Merang

3.5 Perancangan Pengendali LQR

Dalam perancangan pengendali LQR, *transfer function* diubah terlebih dahulu kedalam bentuk *state space* sebagai berikut :

3.5.1 Perancangan Pengendali LQR Temperatur pada Sistem Ruang Pendingin Jamur Merang

Untuk keperluan perancangan kendali optimal LQR, *transfer function* diubah dalam bentuk *state space* sebagai berikut :

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{-10.16}{2100s+1} \quad (3.7)$$

Setelah fungsi alih di dapatkan maka di ubah dalam bentuk transformasi *laplace* sebagai berikut :

$$-10.16U(s) = 2100Y(s) + Y(s)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Dari turunan transfer fungsi pada persamaan sistem ruang pendingin jamur merang, kemudian diturunkan dengan menggunakan metode *inverse* transformasi *laplace* balik sehingga diperoleh persamaan differensial orde satu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} -10.16U &= 2100 \frac{dy}{dt} + Y \\ -10.16u &= 2100 \dot{y} + y \\ \dot{y} &= \frac{-y - 10.16u}{2100} \\ \dot{y} &= -0.000476 y - 0.00483u \end{aligned}$$

Didefinisikan :

$$\begin{aligned} x_1 &= y \rightarrow \dot{x}_1 = \dot{y} \\ \dot{x}_1 &= \dot{y} = -0.000476 y - 0.00483u \\ \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -0.000476 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.00483 \end{bmatrix} u \\ \begin{bmatrix} y \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Didapatkan solusi persamaan keadaan

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.000476 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.00483 \end{bmatrix} u \quad (3.8)$$

Dengan persamaan keluaran :

$$\begin{aligned} y &= cx \\ \begin{bmatrix} y \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Dari persamaan keadaan (3.8) dan persamaan keluaran (3.9) dapat diketahui *state space* A, B, C, dan D sebagai berikut :

$$A = \begin{bmatrix} -0.000476 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$B = \begin{bmatrix} -0.00483 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

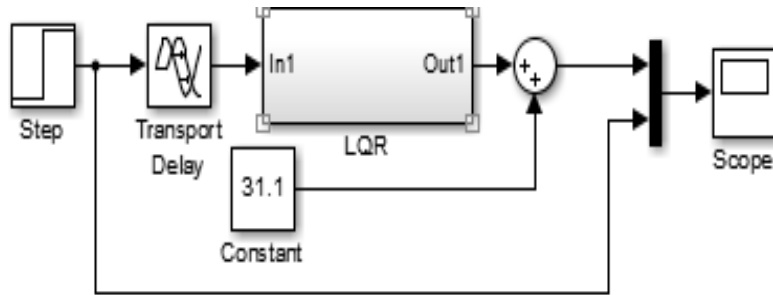
$$C = \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

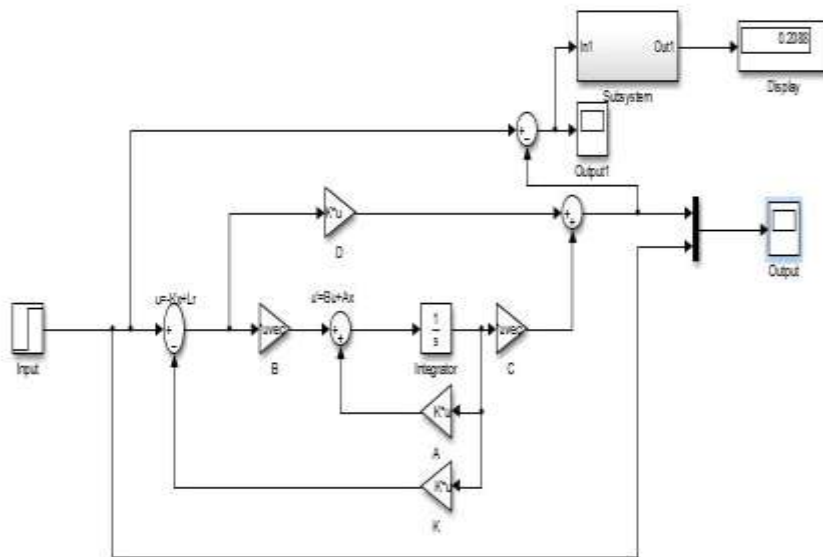
Perancangan pengendali LQR adalah berdasarkan penurunan persamaan matematis LQR pada bab 2. Sehingga berdasarkan turunan matematis dan skema LQR yang sudah didapat akan dibuat ke Simulink. Blok-blok Simulink pengendali LQR pada sistem pendingin pada jamur merang diperlihatkan gambar berikut:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.4 Diagram Blok LQR Pada Temperatur Sistem Pendingin Jamur Merang



Gambar 3.5 Subsystem LQR Pada Temperatur Sistem Pendingin Jamur Merang

Tampilan M-file :

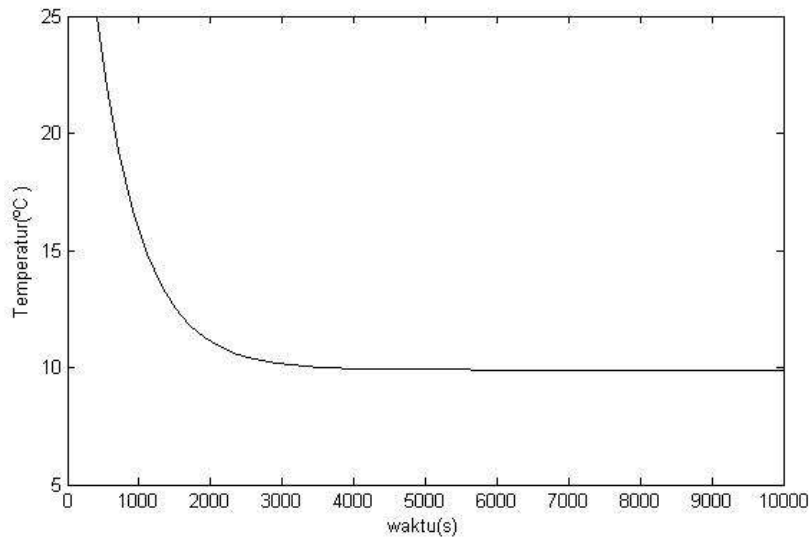
```

kelembaban.m  LQR.m*  +
1 -  A=[-0.000476];
2 -  B=[-0.00483];
3 -  C=[1];
4 -  D=[0];
5 -  R=[1];
6 -  Q=[0.1];
7 -  N=[0];
8 -  sys=ss(A,B,C,D)
9 -  [K,S,e]=lqr(sys,Q,R,N)
    
```

Gambar 3.6 Tampilan M-File Pada Temperatur Sistem Pendingin Jamur Merang

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.7 Respon Menggunakan Kendali LQR Pada Temperatur

3.5.2 Perancangan Pengendali LQR Kelembaban Udara Relatif pada Sistem Ruang Pendingin Jamur Merang

Untuk keperluan perancangan kendali optimal LQR, *transfer function* diubah dalam bentuk *state space* sebagai berikut :

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{-0.428}{253.05s + 1} \quad (3.14)$$

Setelah fungsi alih di dapatkan maka di ubah dalam bentuk transformasi *laplace* sebagai berikut :

$$-0.428U(s) = 253.05Y(s) + Y(s)$$

Dari turunan transfer fungsi pada persamaan sistem pendingin jamur merang, kemudian diturunkan dengan menggunakan metode *inverse transformasi laplace* balik sehingga diperoleh persamaan differensial orde satu sebagai berikut :

$$-0.428u = 253.05 \frac{dy}{dt} + y$$

$$-0.428u = 253.05 \dot{y} + y$$

$$\dot{y} = \frac{-y - 0.428u}{253.05}$$

$$\dot{y} = -0.00395y - 0.00169u$$

Didefinisikan :

$$x_1 = y \rightarrow \dot{x}_1 = \dot{y}$$

$$\dot{x}_1 = \dot{y} = -0.00395y - 0.00169u$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= [-0.00395]x_1 + [-0.00169]x \\ y &= [1]x_1\end{aligned}$$

Didapatkan solusi persamaan keadaan

$$\dot{x}_1 = [-0.00395]x_1 + [-0.00169]x \quad (3.15)$$

Dengan persamaan keluaran :

$$\begin{aligned}y &= cx \\ y &= [1]x_1\end{aligned} \quad (3.16)$$

Dari persamaan keadaan (3.15) dan persamaan keluaran (3.16) dapat diketahui *state space* A, B, C, dan D sebagai berikut :

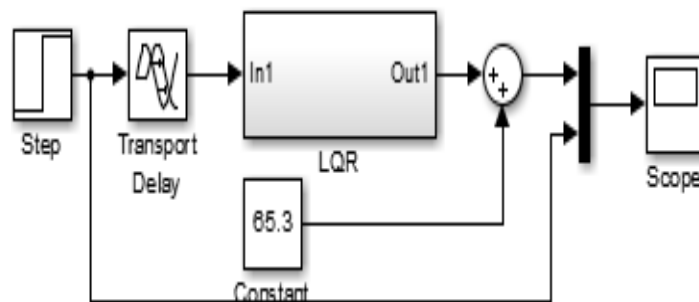
$$A = [-0.00395] \quad (3.17)$$

$$B = [-0.00169] \quad (3.18)$$

$$C = [1] \quad (3.19)$$

$$D = [0] \quad (3.20)$$

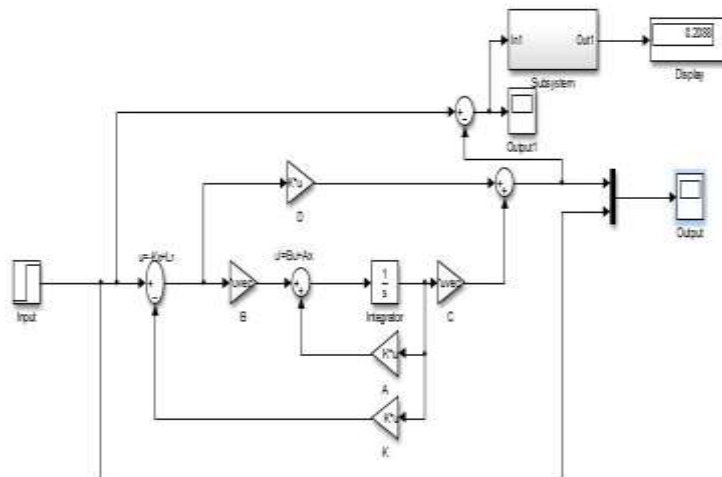
Perancangan pengendali LQR adalah berdasarkan penurunan persamaan matematis LQR pada bab 2. Sehingga berdasarkan turunan matematis dan skema LQR yang sudah didapat akan dibuat ke Simulink. Blok-blok Simulink pengendali LQR pada sistem pendingin pada jamue merang diperlihatkan gambar berikut:



Gambar 3.8 Diagram Blok LQR Pada Kelembaban Sistem Pendingin Jamur Merang

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



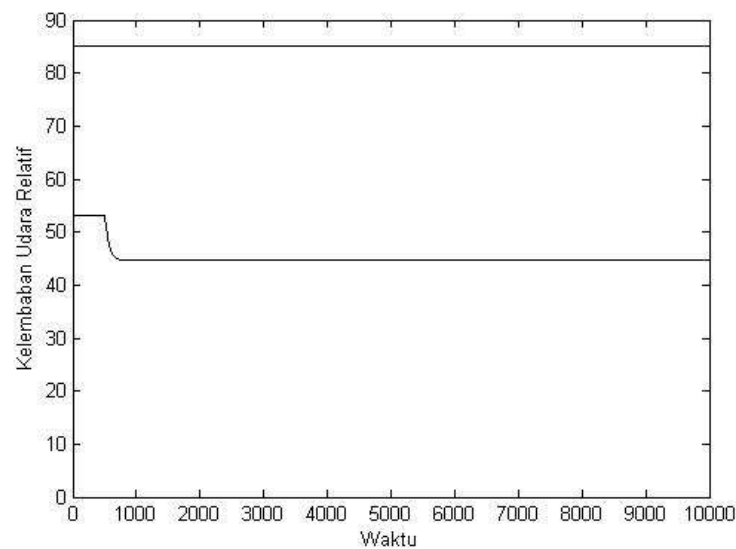
Gambar 3.9 Subsytem LQR Pada Kelembaban Sistem Pendingin Jamur Merang

Tampilan M-file :

```

Editor - D:\KULIAH\semester 7\TA\kelemb
kelembaban.m  x  LQR.m  x  +
1 -      A=[-0.00395];
2 -      B=[-0.00169];
3 -      C=[1];
4 -      D=[0];
5 -      R=[1];
6 -      Q=[100];
7 -      N=[0];
8 -      sys=ss(A,B,C,D)
9 -      [K,S,e]=lqr(sys,Q,R,N)
    
```

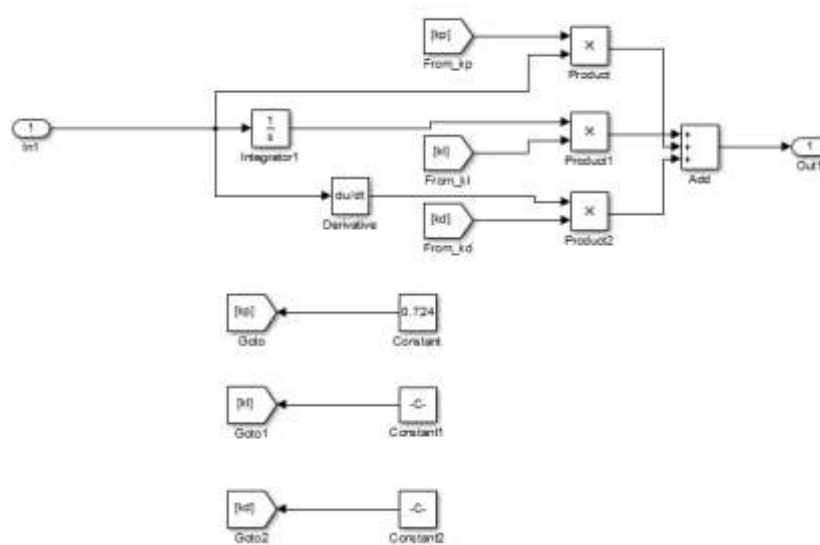
Gambar 3.10 Tampilan M-File Pada Kelembaban Sistem Pendingin Jamur Merang



Gambar 3.11 Respon Menggunakan Kendali LQR Pada Kelembaban Sistem Pendingin

3.6 Perancangan Pengendali Proporsional Integral Derivatif (PID)

Berdasarkan studi literatur yang telah ditentukan maka desain pengendali PID dapat dibuat dengan bentuk *simulink* yang terdapat pada gambar (3.12) dengan memasukkan nilai *transfer function* dalam bentuk *state space* yang diperoleh dari sistem pendingin pada jamur merang dengan masing-masing kondisi *setpoint* temperatur 5 °C dan kondisi *setpoint* kelembaban udara relatif 85% yang telah dimasukkan kedalam blok desain pengendali PID. Penentuan nilai konstanta Kp, Ki dan Kd diperoleh dengan menggunakan metode *heuristic*.



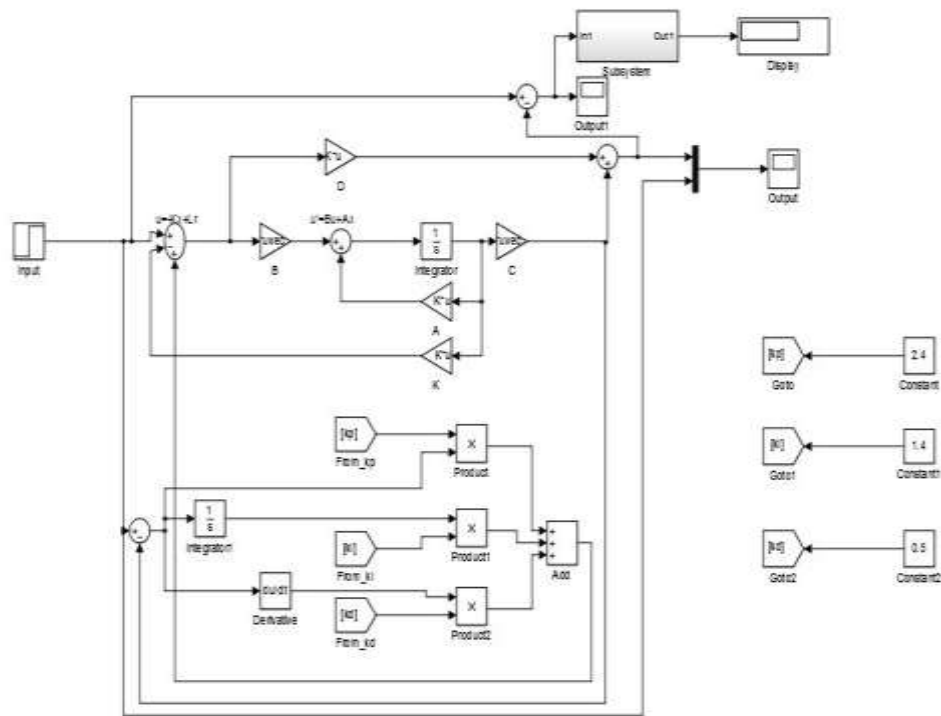
Gambar 3.12 Blok Diagram Kendali PID

3.7 Perancangan Pengendali LQR – PID

Setelah mendapatkan dan mempelajari desain pengendali LQR dan desain pengendali PID maka dapat mengkombinasikan pengendali optimal LQR dan pengendali PID agar kinerja dari pengendali LQR menjadi lebih baik dan optimal. Optimal difokuskan pada respon *output* tidak mengalami osilasi dengan *error* yang minimum serta tidak adanya *overshoot*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.13 Blok Diagram LQR- Blok Diagram LQR-PID

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisa respon sistem yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa pengendali LQR untuk pengendalian temperatur dan kelembaban udara relatif pada sistem pendingin jamur merang didapatkan nilai *error steady state* sebesar -4.905 °C dan 39.28 %. Setelah dilakukan *hybrid* pengendali LQR-PID, pada sistem ruang pendingin jamur merang dalam mengendalikan temperatur didapatkan nilai *error steady state* sebesar 0 °C dan pada sistem ruang pendingin jamur merang dalam mengendalikan kelembaban udara relatif didapatkan nilai *error steady state* sebesar 0 % .

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, selain dengan menggunakan skema kendali optimal dengan metode lain, perancangan juga dapat dilakukan dengan melakukan penggabungan menggunakan pengendali selain kendali optimal ataupun melakukan penggabungan (*hybrid*) menggunakan pengendali selain kendali optimal seperti SMC dan PID.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Oktaria, Iskandar Umarie, Luthfi Ash Shiddieqy. "Penggunaan Beberapa Macam Limbah Tumbuhan Sebagai Media Tumbuh Jamur Merang (*Volvariella volvaceae*)". Staf pengajar fakultas pertanian. Universitas Muhammadiyah Jember.
- [2] Sinaga, M.S. 2001, *jamur merang dan budidayanya*. penerbit swadaya. jakarta
- [3] Annissa Iin, Artuti Ekamawanti Hanna, Wahdina. Keanekaragaman Jenis Jamur *Makroskopis Di Arboretum Sylva*. Universitas Tanjungpura. Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura. 2017
- [4] Tjokrokusumo Donowati. Diversitas Jamur Pangan Berdasarkan Kandungan *Beta-Glukan* Dan Manfaatnya Terhadap Kesehatan. Pusat Teknologi Bioindustri, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2015
- [5] Resa Setia Adiandri, Sigit Nugraha dan Ridwan Rachmat. Karakteristik Mutu Fisikokimia jamur Merang (*Volvariella Volvacea*) Selama Penyimpanan Dalam Berbagai Jenis Larutan Dan Kemasan. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. 2012.
- [6] Prabowo, Aditya hari. Rancang Bangun Sistem Kendali Otomatis Berbasis *Mikrokontroler* Untuk Mengendalikan Temperatur Dan Rh Pada Kumbung Jamur Merang (*Volvariella Volvaceae* L.). Fakultas Pertanian Universitas Lampung. 2018
- [7] Sumiati, Etty. Djuariah, Dini. (2007) Teknologi Budidaya Dan Penanganan Pascapanen Jamur Merang, *Volvariella Volvacea*, Balai Penelitian Tanaman Sayuran, Bandung
- [8] Tao F, Zhang M, Jincai S. (2005) Preservation of mushroom in storage after cooling treatment. *Int. Agrophysics.*; 19: 293-297.
- [9] Karsid, Aziz Rofan. Perancangan Kendali PID Dengan Model *Process Reaction Curve* Pada *Showcase* Jamur Merang. Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Indramayu. 2015.
- [10] Karsid, Aziz Rofan. Studi Perbandingan Model Dan Aplikasi Kontrol *On-Off* Pada *Cold Storage* Jamur Merang. . Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Indramayu. 2015.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

- [11] Kardono. “Perancangan dan Implementasi Sistem Pengaturan Optimal LQR Untuk Menjaga Kestabilan Hover Pada Quadcopter” Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. 2012.
- [12] Astrom K. Hagglund, *PID Controllers : Theory Design And Tuning*. Research Triangel Park, Instrument Society, 1995
- [13] Sholihin, Ahmad “Desain Pengendali Optimal *Linear Quadratic Regulator* Pada Sistem Pengendalian Temperatur di *Annealing Lehr* Untuk Proses Pembuatan Kaca”. Jurusan Teknik Elektro, UIN Suska Riau. 2018
- [14] Nasir, Ahmad N.K, dkk. “*Performance Comparison Between LQR and PID Controllers for an Inverted Pendulum*”. AIP Conference Proceedings. 2008
- [15] Fernaza, Olivia “Studi Metoda Kendali *Linear Quadratic* (LQR) dan Aplikasinya Pada Sistem *Automatic Voltage Regulator* (AVR). Jurusan Teknik Elektro, Universitas Andalas.
- [16] Ashraf, Muhammad Hanafi, “Perancangan Pengendali LQR-PID Untuk Pengendalian Tekanan Pada Modul Training *Pressure Process Rig 38-174*”. Jurusan Teknik Elektro, UIN Suska Riau. 2018
- [17] Hafiz abdul, Ferdian, Rahman Aulia. Rancang Bangun Prototipe Pengukuran dan Pemantauan Suhu, Kelembaban serta Cahaya Secara Otomatis Berbasis Iot pada Rumah Jamur Merang. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.2017.
- [18] Pasaribu, T. Permana, T., dan Alda, ER. 2002. Aneka Jamur Unggulan yang Menembus Pasar. PT. Gramedia. Jakarta.
- [19] Kholis.Ikhwannul, Pemodelan Sistem Pengendali PID dengan Metode Ciancone Berbasis *MATLAB Simulink* Pada Sistem *Pressure Process Rig 38-714*, Universitas Mpu Tantular, 2017
- [20] M.Gopal.2010. *Digital Control and State Variable Method (Conventional and Intelligent control system) Third Editon*. The McGraw-Hill Companies.
- [21] Nise, Norman S. 2011. *Control Systems Engineering 6th Edition*. New York
- [22] Ogata, Katsuhiko, *Modern Control Engineering Fifth Edition*, Prentice Hall. New Jersey, 2010
- [23] Ogata, Katsuhiko. Teknik Kontrol Automatik Edisi 2 Jilid 1. Jakatra : Prentice Hall, 1970.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- [24] Lewis Frank L dan Syrmos, Vassilis L. *“Optimal Control”*, John Wiley dan Sons, Inc, 1995
- [25] Permata Sari, Ranti. *“Penalaan Parameter Kontrol PID dengan Metode Heuristi Aplikasi Sistem Pengendalian Kecepatan Motor DC”*. Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung. Teknik Elektro Itenas Vol. 1 No.2, 2010.
- [26] Yunus, Swarinoto dan Sugiyono. *“Pemanfaatan Suhu Udara Dan Kelembapan Udara Dalam Persamaan Regresi Untuk Simulasi Prediksi Total Hujan Bulanan Di Bandar Lampung”* Pusat Meteorologi Publik BMKG Bandar Lampung.
- [27] Purnama Hadi, *“Keterkaitan Suhu Dan Kelembaban Udara Ruang Penyimpanan Terhadap Kadar Air Jagung Pada Bangunan Penyimpanan (Studi Kasus Pada Gudang K.U.D. Di Desa Pringgasela Kecamatan Pringgasela)”* Fakultas Teknologi Pangan Dan Agroindustri Universitas Mataram 2013.

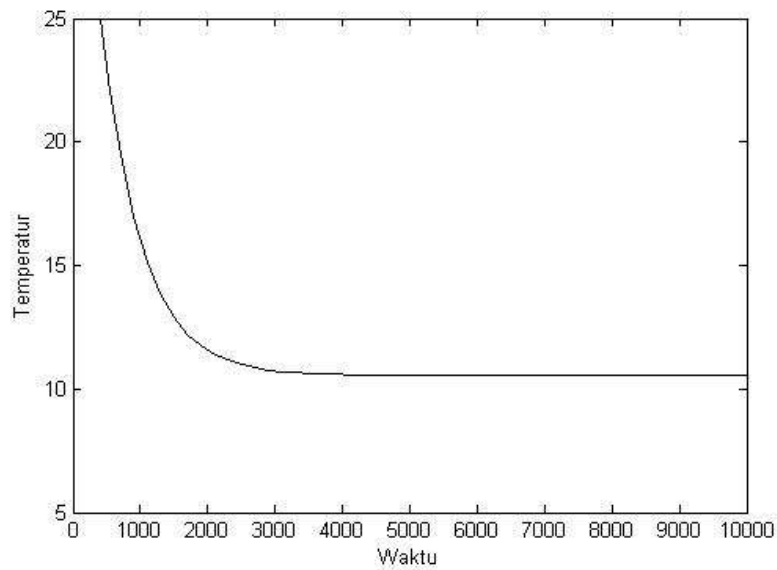
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

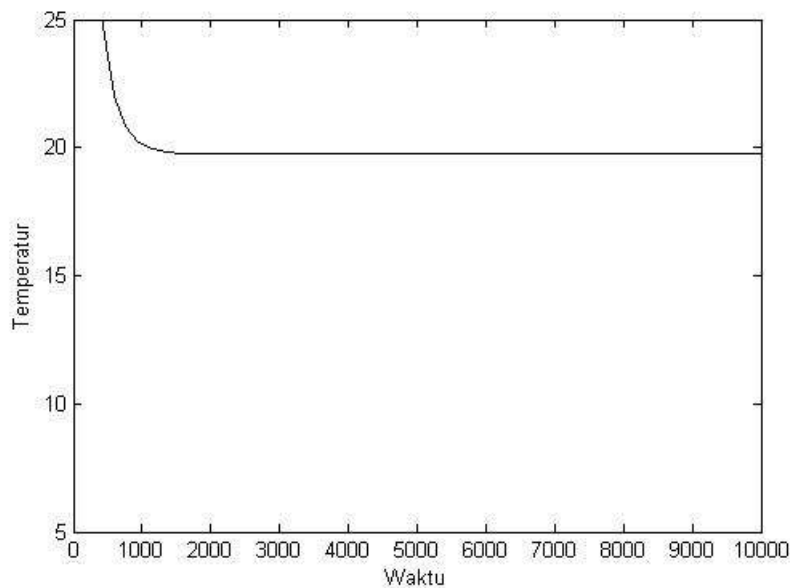
LAMPIRAN A

PROSES PENALAAAN PARAMETER KENDALI OPTIMAL *LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR)* PADA PERUBAHAN MATRIKS Q UNTUK MENGENDALIKAN TEMPERATUR PADA SISTEM RUANG PENDINGIN JAMUR MERANG.

1. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [0.11]$



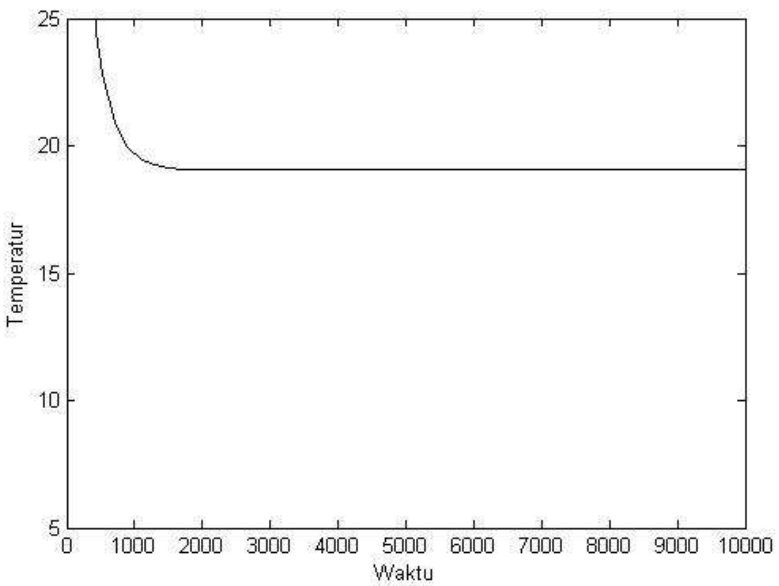
2. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [0.9]$



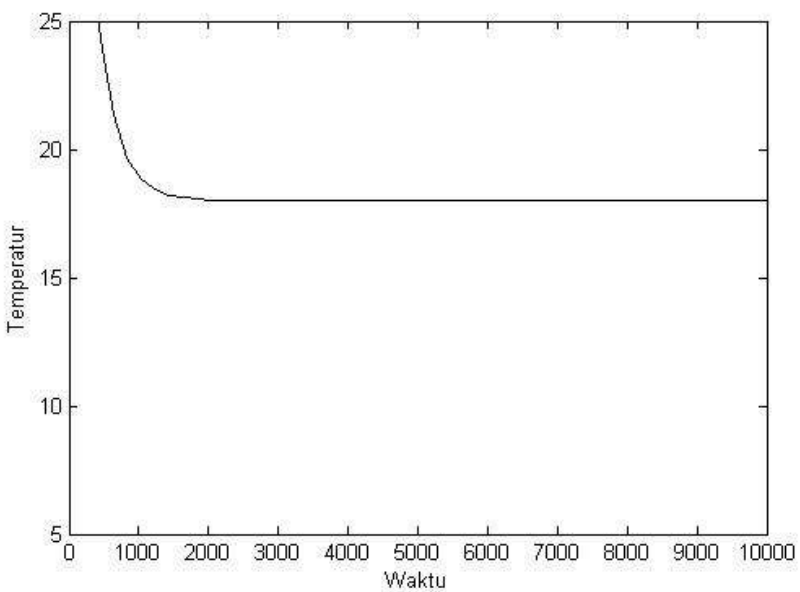
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [0.7]$



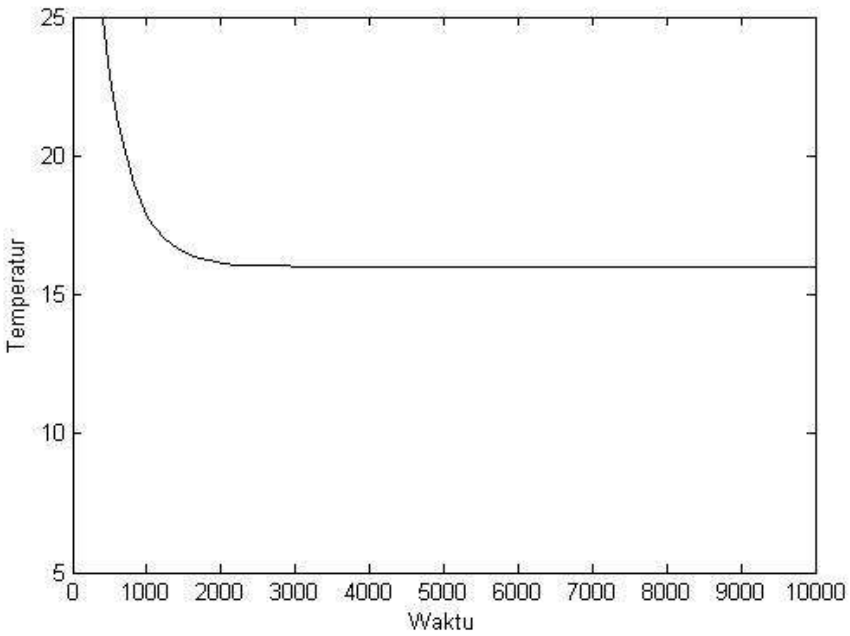
4. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [0.5]$



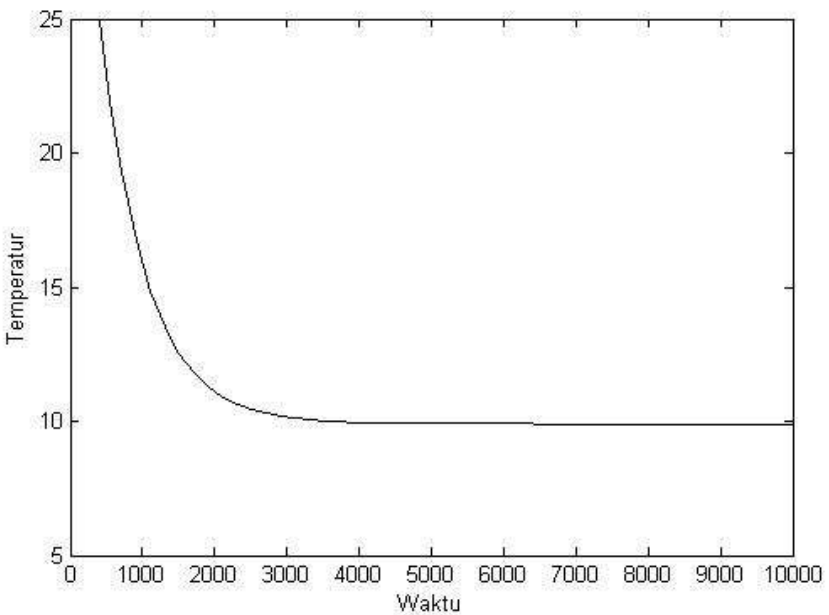
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

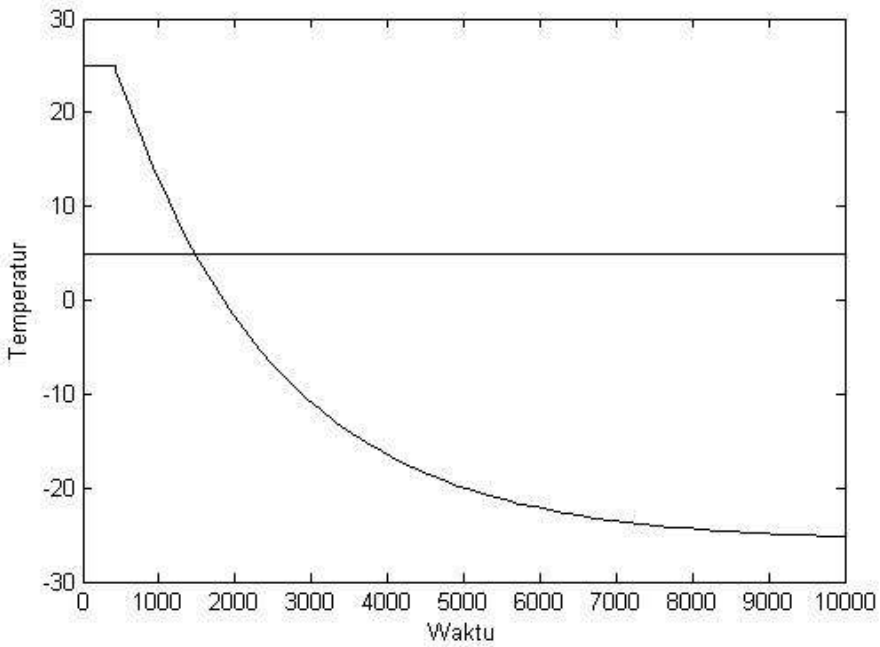
5. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [0.3]$



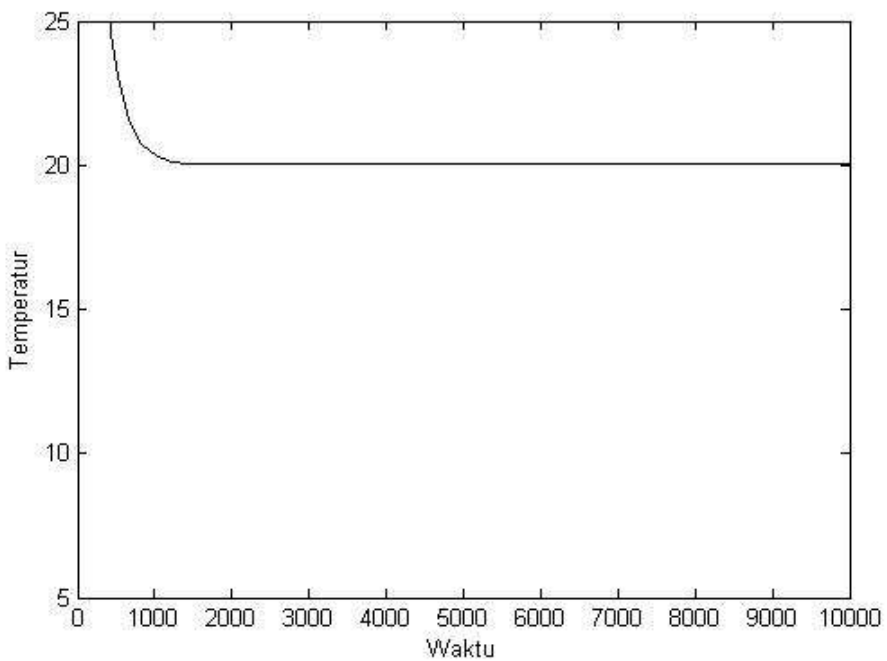
6. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [0.1]$



7. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [0]$



8. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [1]$



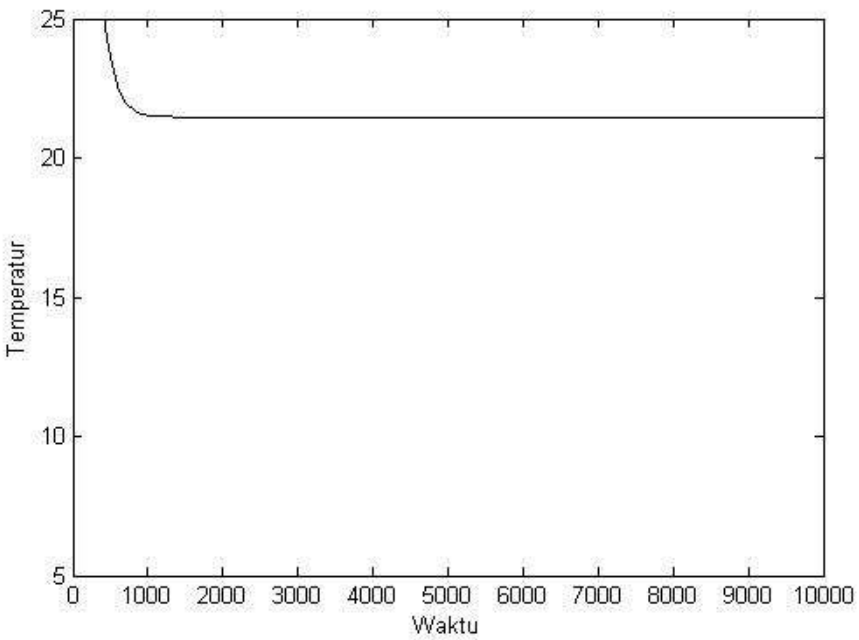
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

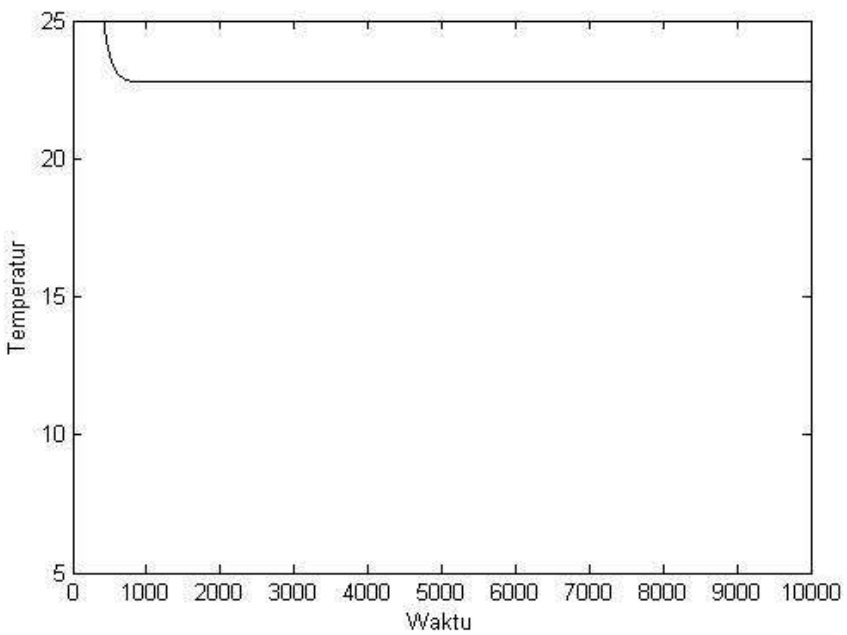
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

9. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [2]$



10. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [5]$

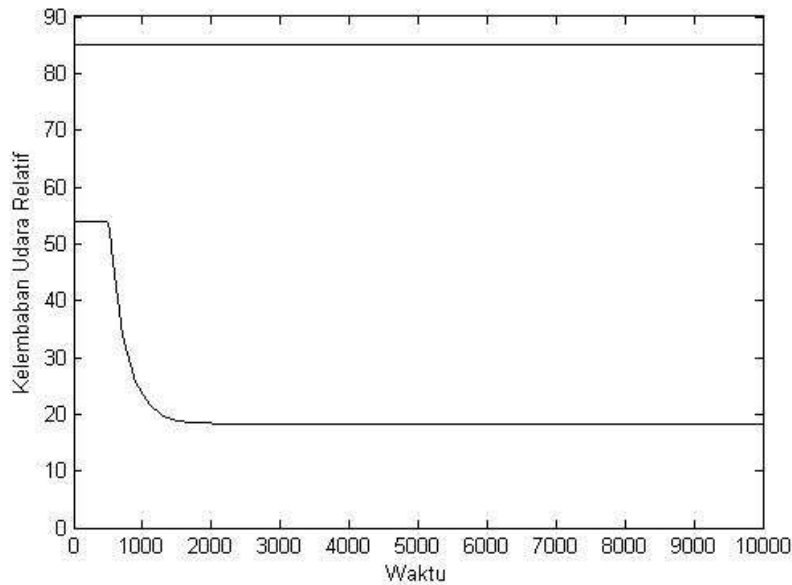


1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

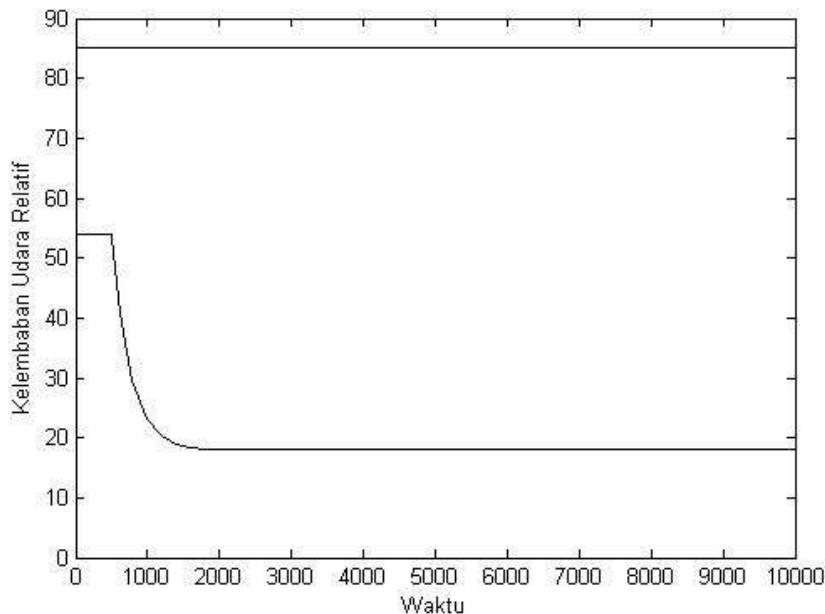
LAMPIRAN B

PROSES UJI COBA PARAMETER KENDALI OPTIMAL *LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR)* PADA PERUBAHAN MATRIKS Q UNTUK MENGENDALIKAN KELEMBABAN UDARA RELATIF PADA SISTEM RUANG PENDINGIN JAMUR MERANG.

11 Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [0.20]$



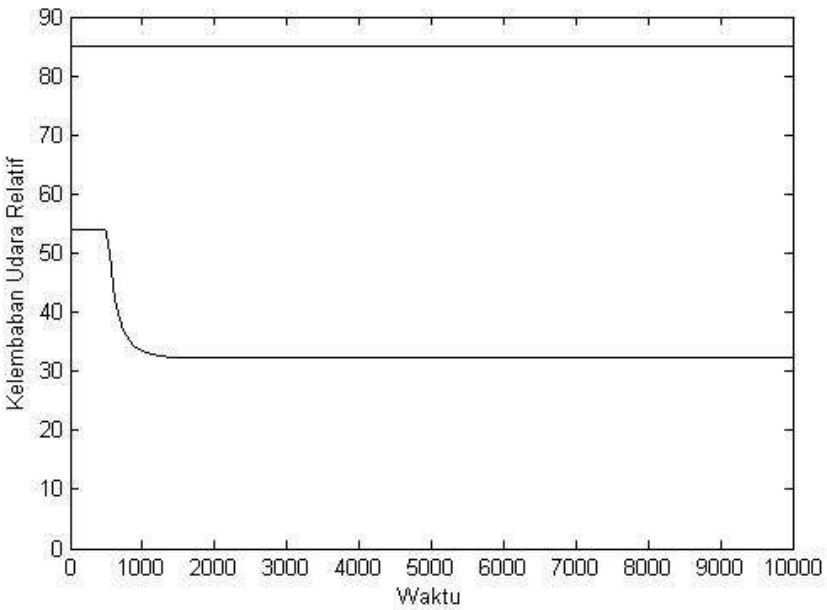
12 Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [0.10]$



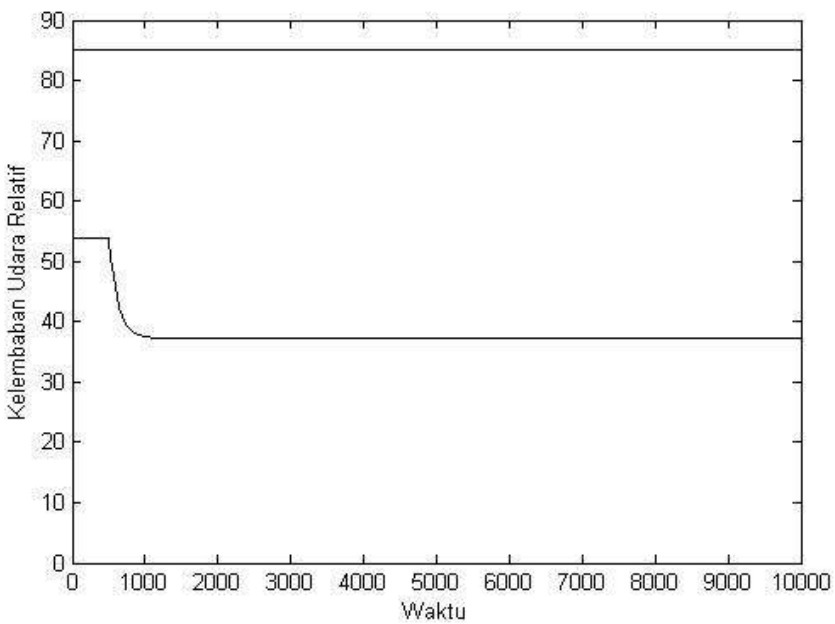
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

13. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [10]$



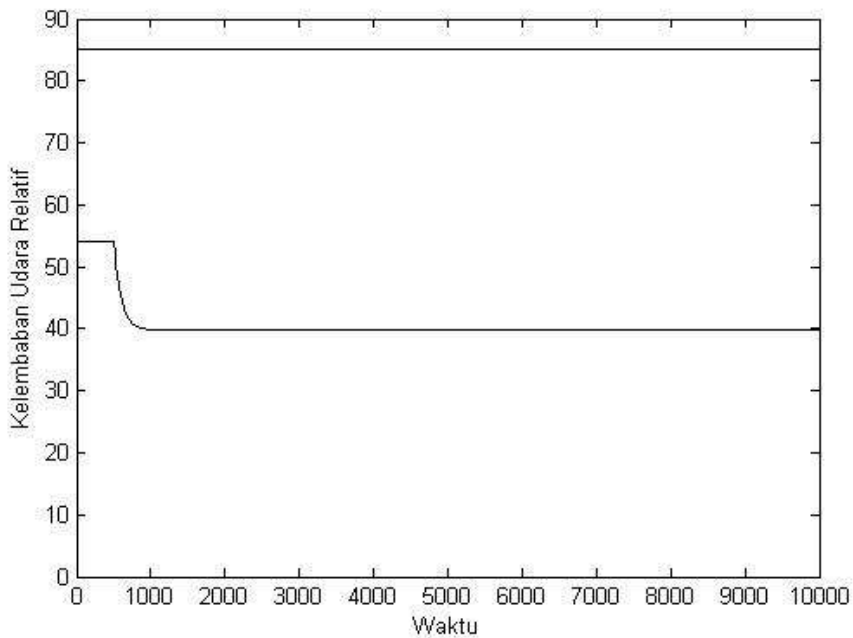
14. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [20]$



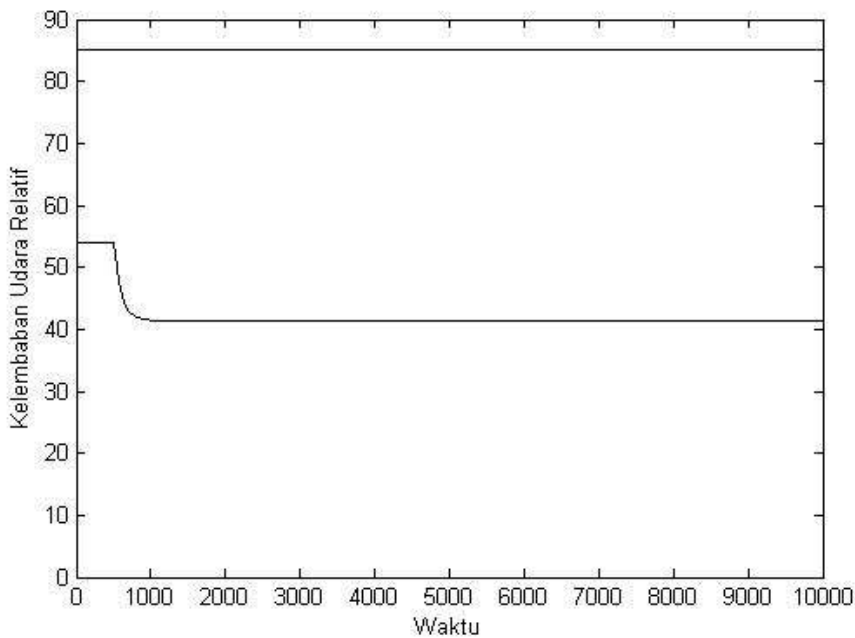
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

15. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [30]$



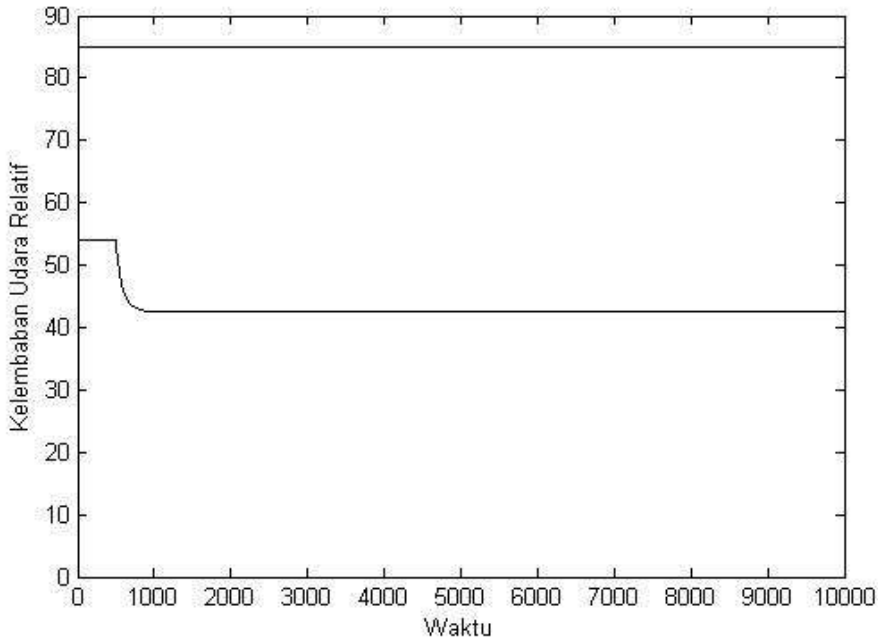
16. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [40]$



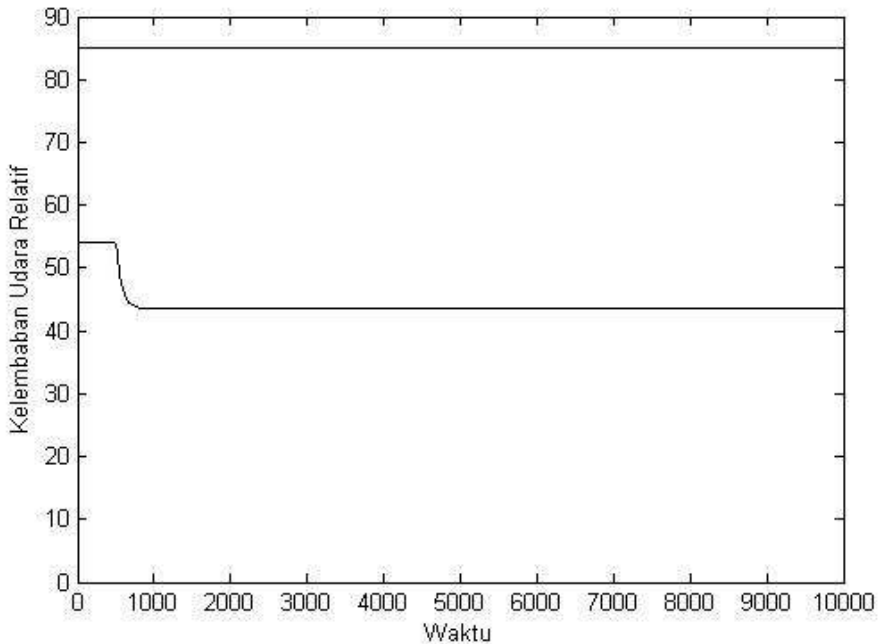
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

17. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [50]$



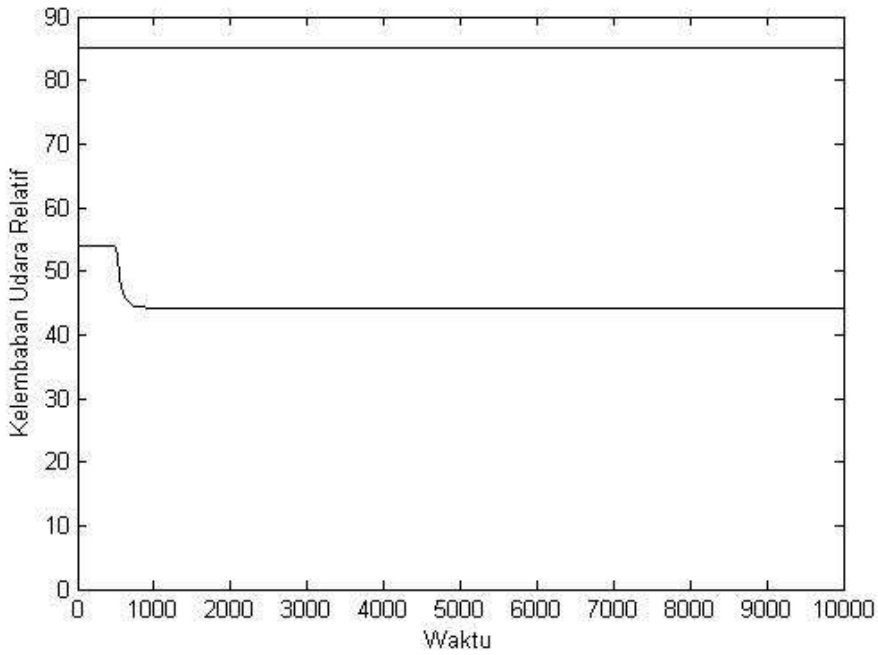
18. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [60]$



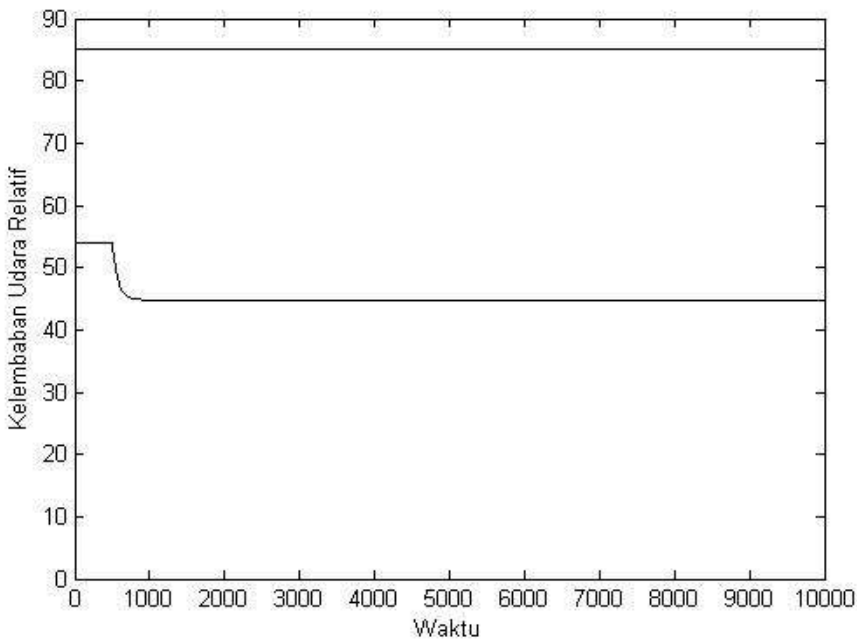
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

19. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [70]$



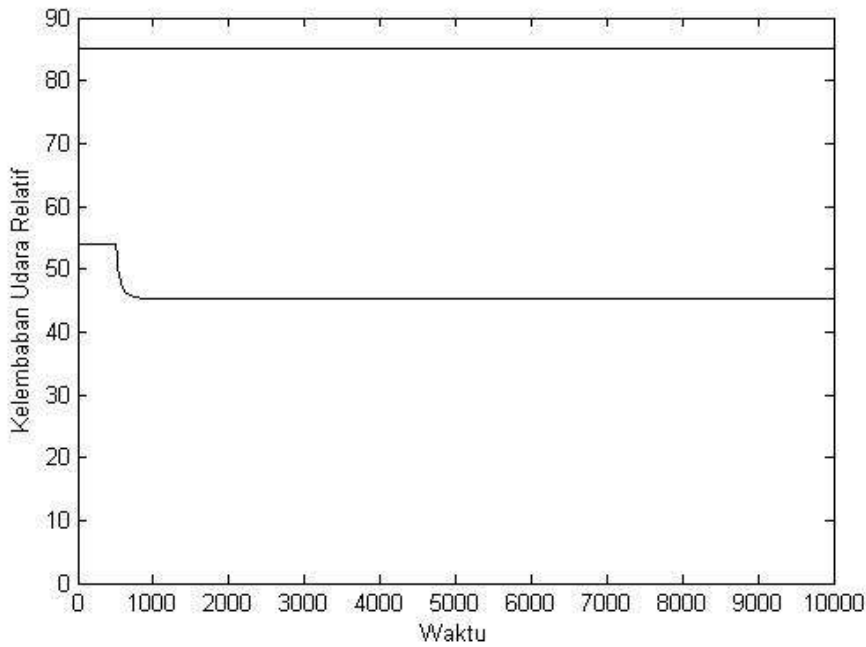
20. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [80]$



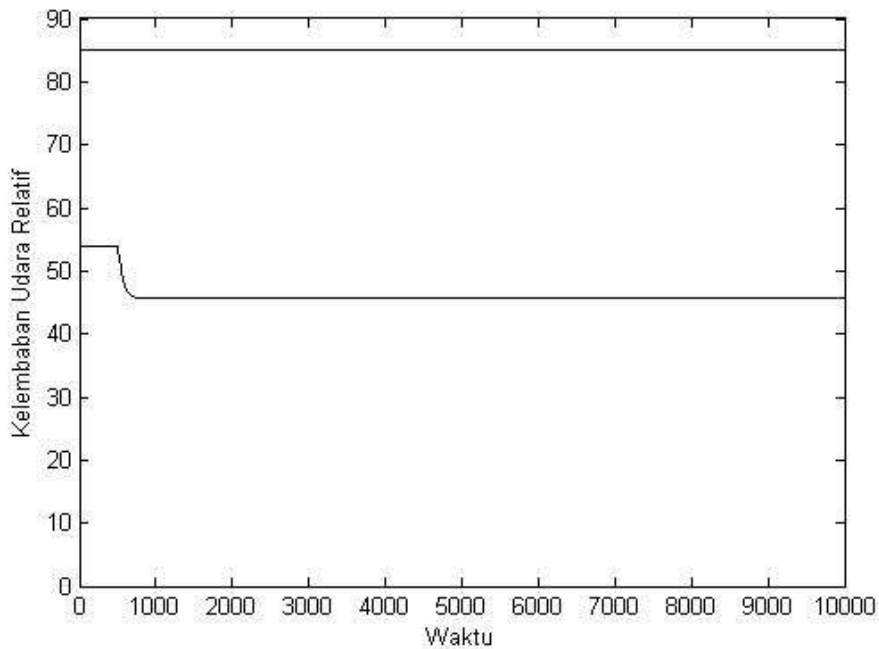
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

21. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [90]$



22. Hasil simulasi kendali optimal LQR dengan matriks $Q = [100]$



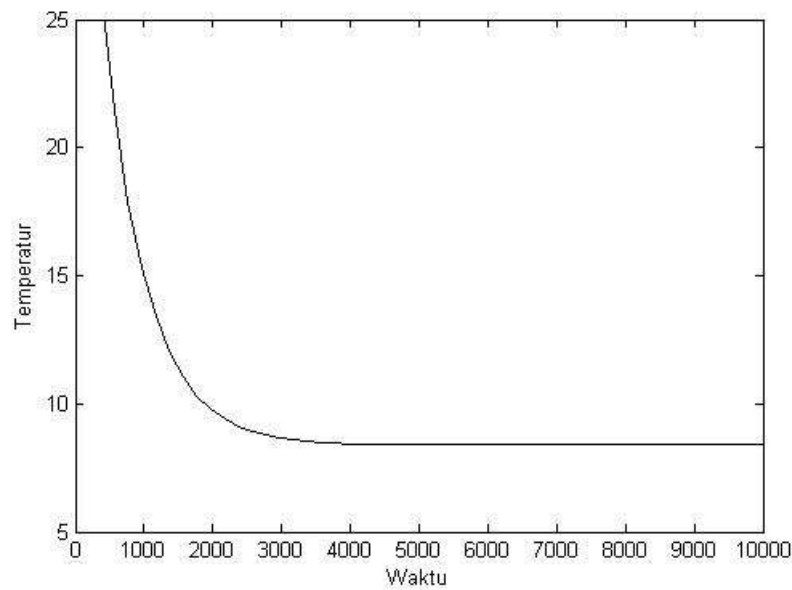
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

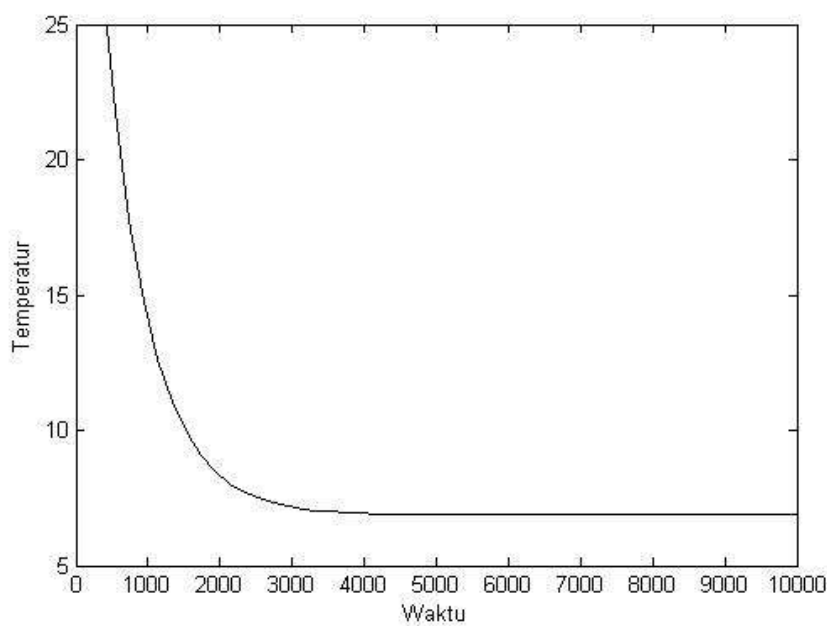
LAMPIRAN C

PROSES UJI COBA NILAI PENGENDALI LQR-PID UNTUK MENGENDALIKAN TEMPERATUR PADA SISTEM RUANG PENDINGIN JAMUR MERANG.

23. Hasil simulasi pegendali LQR-PID dengan $K_p = 0.1$, $K_i = 0$, $K_d = 0$



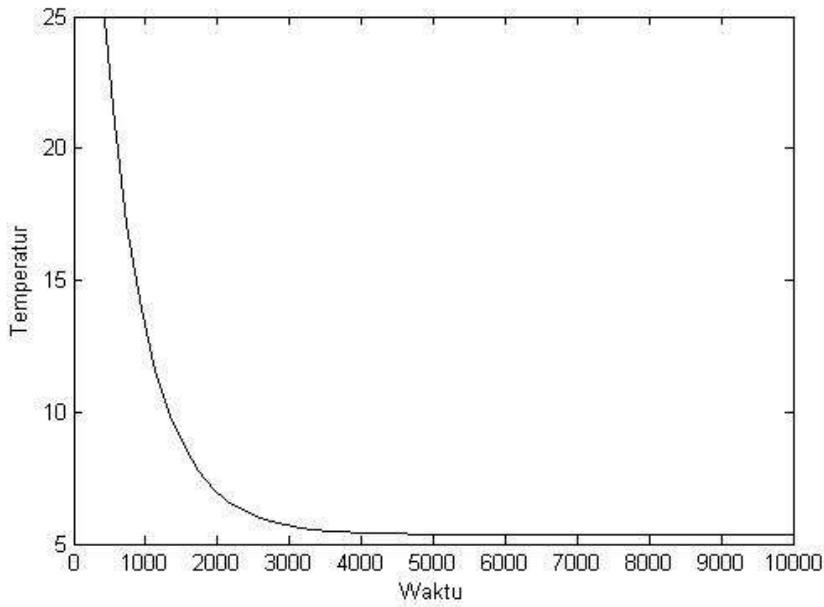
24. Hasil simulasi pegendali LQR-PID dengan $K_p = 0.2$, $K_i = 0.0000001$, $K_d = 0.001$



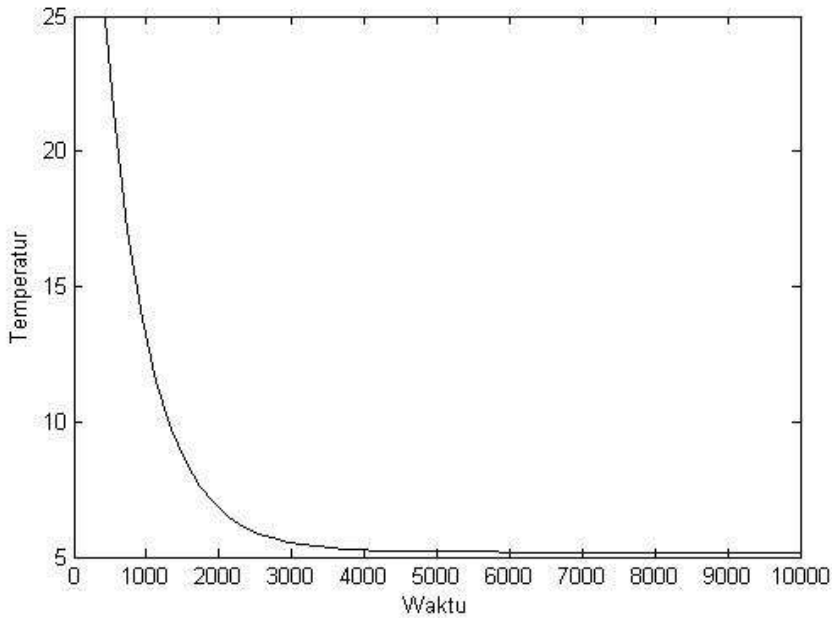
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

25. Hasil simulasi pegendali LQR-PID dengan $K_p = 0.3$, $K_i = 0.0000003$, $K_d = 0.001$



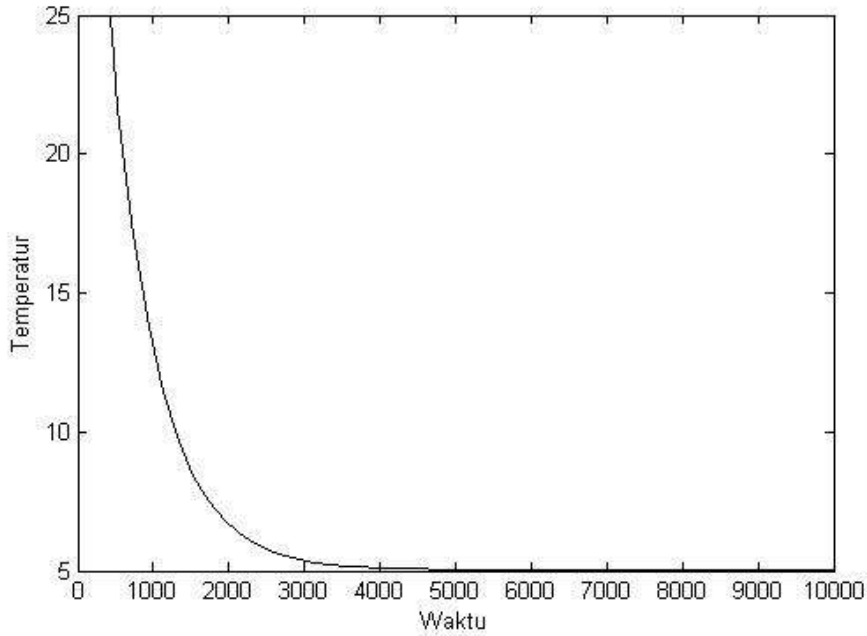
26. Hasil simulasi pegendali LQR-PID dengan $K_p = 0.31$, $K_i = 0.0000005$, $K_d = 0.001$



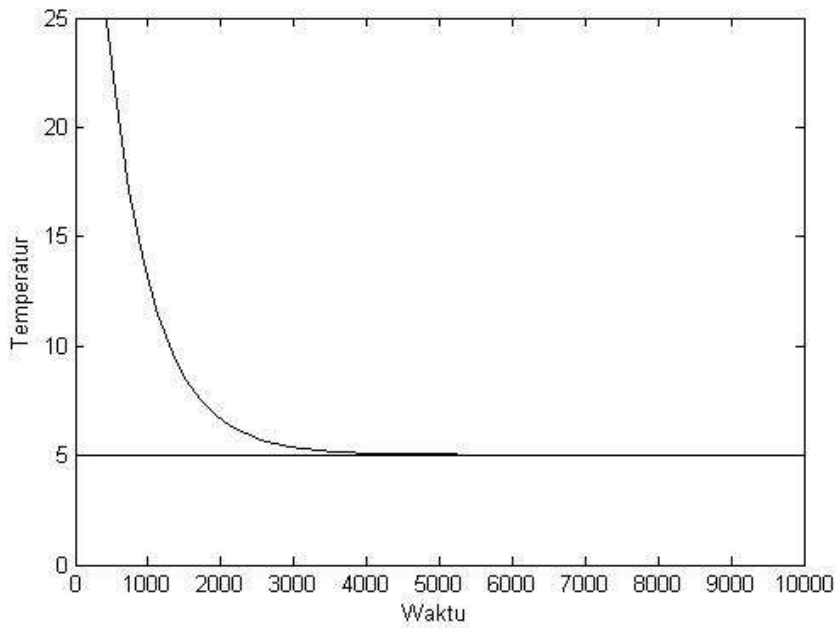
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

27. Hasil simulasi pegendali LQR-PID dengan $K_p = 0.32$, $K_i = 0.00000051$, $K_d = 0.001$



28. Hasil simulasi pegendali LQR-PID dengan $K_p = 0.32$, $K_i = 0.000000512$, $K_d = 0.001$



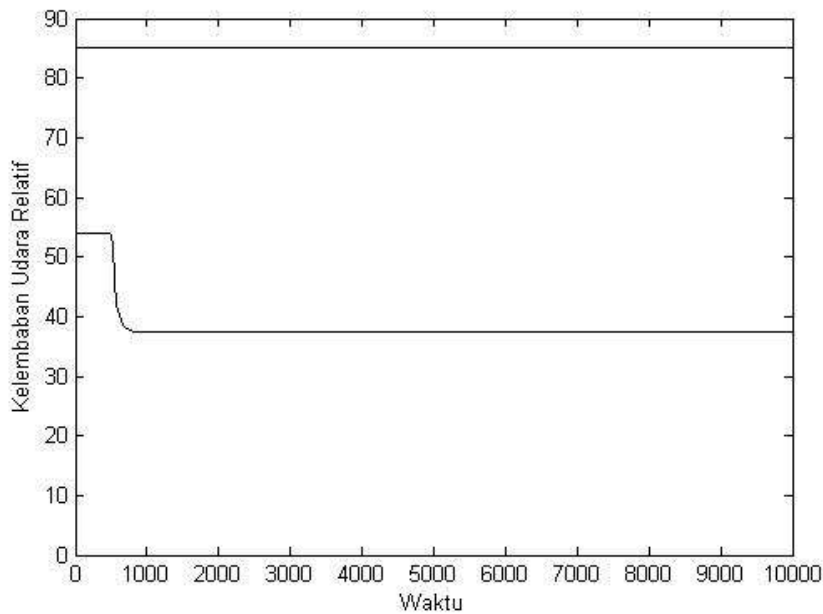
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

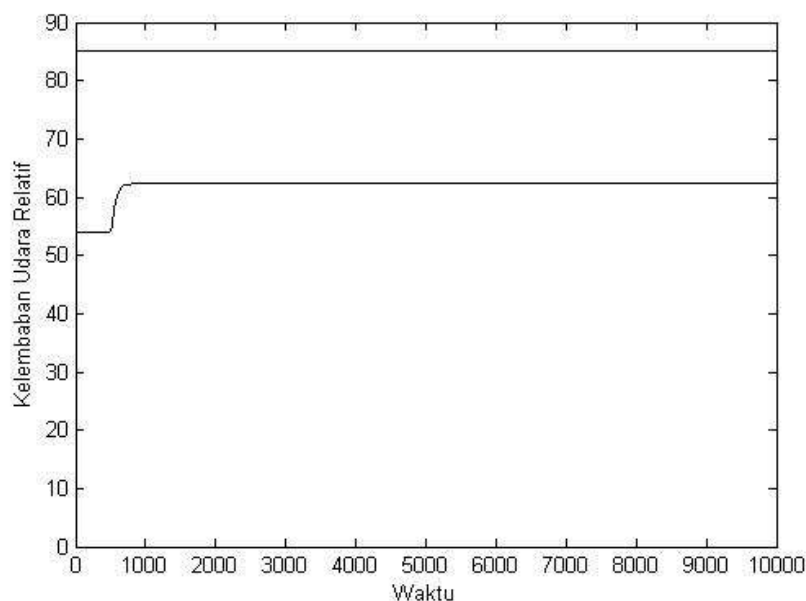
LAMPIRAN D

PROSES UJI COBA NILAI PENGENDALI LQR-PID UNTUK MENGENDALIKAN KELEMBABAN UDARA RELATIF PADA SISTEM RUANG PENDINGIN JAMUR MERANG.

29. Hasil simulasi pegendali LQR-PID dengan $K_p = 1$, $K_i = 0$, $K_d = 0$



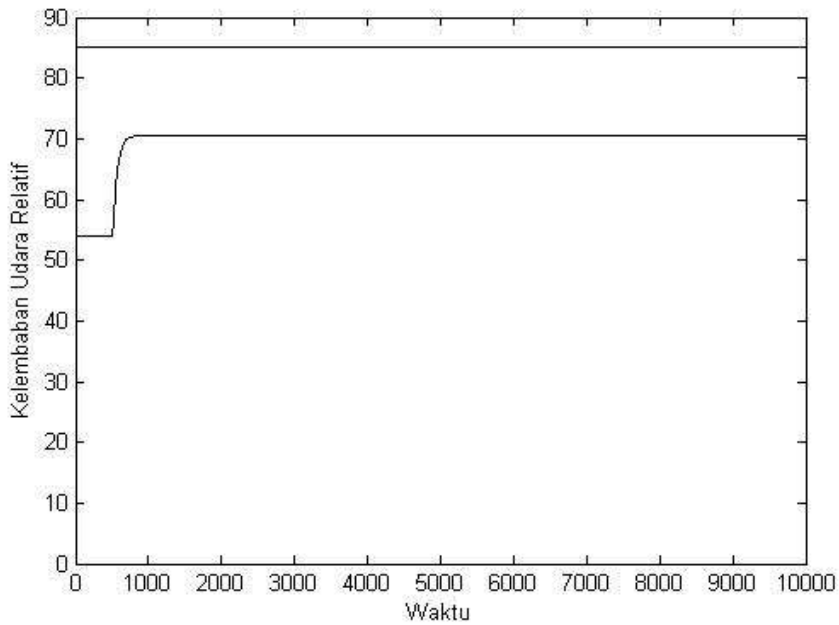
30. Hasil simulasi pegendali LQR-PID dengan $K_p = -2$, $K_i = 0.0000001$, $K_d = 0.001$



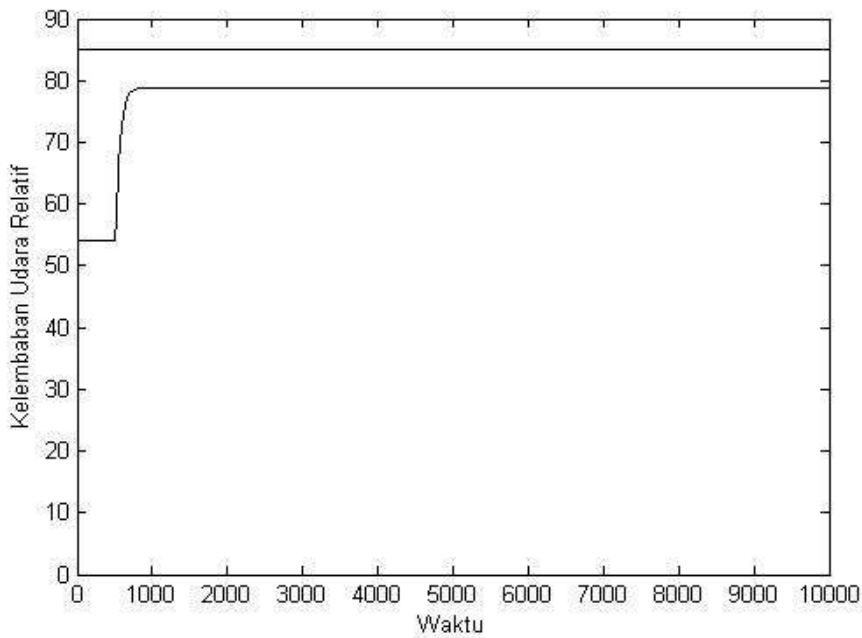
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

31. Hasil simulasi pegendali LQR-PID dengan $K_p = -3$, $K_i = 0.00000001$, $K_d = 0.002$



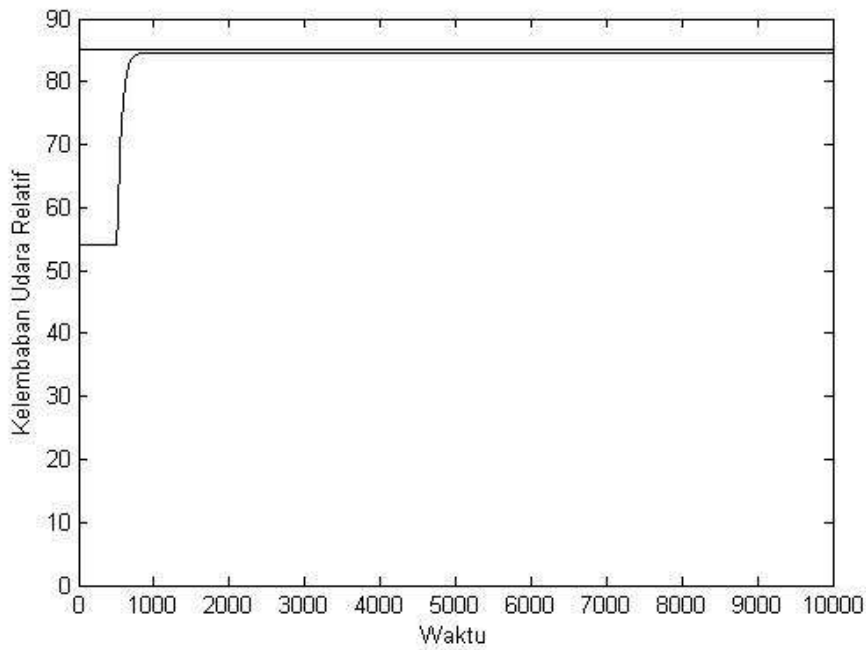
32. Hasil simulasi pegendali LQR-PID dengan $K_p = -4$, $K_i = 0.00000001$, $K_d = 0.003$



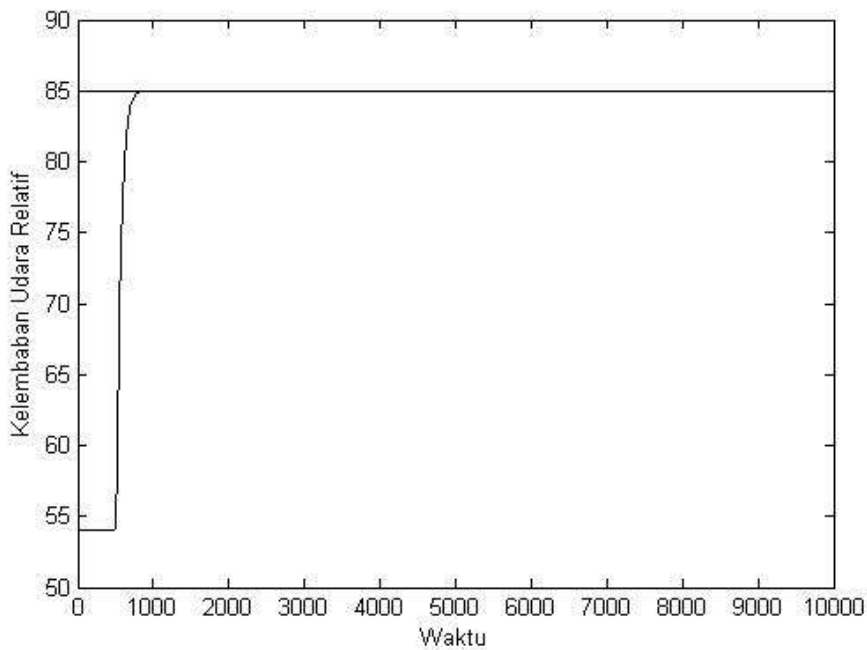
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

33. Hasil simulasi pegendali LQR-PID dengan $K_p = -4.7$, $K_i = 0.0000001$, $K_d = 0.004$



34. Hasil simulasi pegendali LQR-PID dengan $K_p = -4.74$, $K_i = 0.0000001$, $K_d = 0.005$



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Agung Wahyudhi, lahir di Duri, 16 September 1997 merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Sukardi dan Erniati yang beralamat di Jorong Inayah Kelurahan Kurnia Koto Salak Kecamatan Sungai Rumbai Kabupaten Dharmasraya Prov. Sumatra Barat.

email : agungwahyudhi97@gmail.com

HP : 0812 7552 2791

Pengalaman pendidikan yang dilalui dimulai pada Sekolah Dasar di SD Negeri 07 Kurnia Koto Salak tahun 2003 s/d 2009 dan melanjutkan di SMP Negeri 2 Kurnia Koto Salak tahun 2009 s/d 2012. Setelah menyelesaikan pendidikan di SMP, pendidikan dilanjutkan di SMA Negeri 1 Sungai Rumbai tahun 2012 – 2015. Kemudian melanjutkan studi di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau pada konsentrasi Elektronika dan Instrumentasi tahun 2015. Penulis menyelesaikan masa studi selama empat setengah tahun dan lulus tahun 2019 dengan penelitian Tugas Akhir berjudul “Perancangan Pengendali LQR-PID Untuk Mengendalikan Temperatur dan Kelembaban Udara Relatif pada Sistem Ruang Pendingin Jamur Merang”.